



**Marta Nunes Pimentel**

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

**Um modelo *Data Envelopment Analysis* para avaliação da eficiência dos terminais de contentores do grupo TERTIR**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Ana Paula Barroso, Professora Auxiliar, FCT

Co-orientadora: Professora Doutora Virgínia Machado, Professora Auxiliar, FCT

Júri:

Presidente: Doutor Virgílio António Cruz Machado

Arguentes: Doutor Nuno Alexandre Correia Martins Cavaco

Vogais: Doutora Ana Paula Barroso  
Engenheiro Paulo Moutinho Neves



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2015**





**Marta Nunes Pimentel**

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

**Um modelo *Data Envelopment Analysis* para avaliação da eficiência  
dos terminais de contentores do grupo  
TERTIR**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Ana Paula Barroso, Professora Auxiliar, FCT

Co-orientadora: Professora Doutora Virgínia Machado, Professora Auxiliar, FCT

Júri:

Presidente: Doutor Virgílio António Cruz Machado

Arguentes: Doutor Nuno Alexandre Correia Martins Cavaco

Vogais: Doutora Ana Paula Barroso  
Engenheiro Paulo Moutinho Neves



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2015**



**Um modelo *Data Envelopment Analysis* para avaliação da eficiência dos terminais de contentores do grupo TERTIR.**

Copyright © Marta Nunes Pimentel, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# Agradecimentos

Ao grupo TERTIR, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação na sua sede e pela possibilidade de elaborar um projeto de elevado interesse tanto para a empresa como para mim, enquanto finalista do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Ao Eng. Álvaro Fonseca, Eng. Carlos Figueiredo e Eng. Hélder Henriques pelas explicações, paciência e disponibilidade. Ao Dr. Luís Monteiro e ao Eng. Paulo Moutinho Neves por toda a simpatia e disponibilização de informação. Um agradecimento especial à Liscont e à Sadoport, que tão amavelmente me receberam e prontamente se disponibilizaram para qualquer esclarecimento e apoio. Em especial, ao Eng. Moraes Rocha e ao Sr. Alexandre Gonçalves, da Liscont e ao Comandante Carlos Santos, da Sadoport. Os agradecimentos estendem-se, de um modo geral, a todo o grupo TERTIR.

À Professora Doutora Ana Paula Barroso e Professora Doutora Virgínia Machado, pelo apoio constante e pela grande disponibilidade que demonstraram ao longo destes últimos meses. Agradeço, também, todas as sugestões e críticas efetuadas que possibilitaram o enriquecimento desta dissertação.

Ao Professor Doutor João Quaresma Dias e ao Professor Sérgio Palma por terem perdido um dia do seu trabalho para me orientarem e guiarem num momento de maior desorientação.

Ao meu pai, mãe e irmão, por todas as possibilidades fornecidas, pelo esforço efetuado, pela preocupação constante e, até mesmo, pela exigência requerida. A eles, por serem um exemplo a seguir.

Aos meus amigos e minha segunda família, as “Sadinas”, por me fazerem acreditar nas minhas capacidades nos momentos em que mais duvidei delas. Em especial, à Ana e ao Firi, por terem entendido as minhas angústias e por estarem sempre a meu lado. Ao Dedu, Inês e Rita, pela amizade incondicional ao longo de todos estes anos.

Aos meus colegas de curso, que fizeram do meu percurso académico um momento que irei guardar com carinho e saudade.

Ao Bravo, pela presença constante, pela amizade e pela capacidade de me fazer rir mesmo nos momentos mais difíceis.





# Resumo

O transporte marítimo tem vindo a adquirir uma considerável importância na economia mundial desde o século XV. O transporte marítimo é visto como um dos meios de transporte mais viáveis, que engloba um largo número de destinos no mundo e representa, para uma determinada distância a percorrer, o menor custo por tonelada. É, também, comparativamente com o transporte aéreo e rodoviário, o meio de transporte menos poluente, tornando-o, assim, uma alternativa “amiga do ambiente”. Em particular, o transporte via contentores tem vindo a ser cada vez mais utilizado devido às suas inúmeras vantagens. O contentor permite o transporte de qualquer tipo de mercadoria em boas condições de acondicionamento e permitiu otimizar as operações efetuadas através da redução de tempo de trabalho, custos e espaço. Ademais, com a globalização, a evolução do mercado, a construção de navios de maiores dimensões e a maior tecnologia investida no setor, a competição entre os portos alcançou níveis que exigem uma maior eficiência de toda a estrutura portuária.

Neste contexto, a presente dissertação visa avaliar a eficiência dos terminais de contentores do grupo TERTIR, nomeadamente os de Lisboa, Leixões e Setúbal, utilizando o método *Data Envelopment Analysis* (DEA). De um modo geral, o método DEA avalia a capacidade dos terminais em converter *inputs* em *outputs*. Mais especificamente os *inputs* selecionados nesta dissertação dizem respeito às infraestruturas e equipamentos dos terminais em estudo, e o *output* considera a carga movimentada por cada terminal, sendo neste caso representada pelo número de TEUs movimentados. O modelo proposto é aplicado a um conjunto de 30 terminais de contentores Europeus de 6 países diferentes, nomeadamente, Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Holanda e Portugal.

De um modo geral, os terminais TERTIR apresentam níveis de eficiência baixos quando comparados com outros terminais Europeus. Os resultados contribuem, também, para auxiliar o grupo TERTIR no debate de algumas questões atuais com as autoridades portuárias, nomeadamente no que se refere à descida dos tarifários praticados aos seus clientes e à enunciada construção do terminal de contentores do Barreiro.

**Palavras-chave:** *Data envelopment analysis*; Eficiência; Terminais de contentores



# Abstract

The maritime transport has been acquiring a considerable importance in the world economy since the XV century. The maritime transport is seen as one of the most viable means of transport that encompasses a large number of destinations and represents, for a certain distance, the lower cost per ton. It is also, comparing to the air and road, the less polluting means of transport, making it an “environmental friendly” alternative. In particular, the containerized transport, has been growing due to the innumerable advantages that the container represents. The container can transport a wide variety of goods in safe conditions and it allowed to optimize the terminals operations through reduction of handling time, labor costs and space. Moreover, with the globalization, the market evolution, the development of larger vessels and the technology invested in the sector, port competition has achieved levels that require a more efficient port structure.

In this context, the present dissertation aims to evaluate the efficiency of TERTIR container terminals, namely the ones from Lisbon, Leixões and Setúbal, making use of the Data Envelopment Analysis (DEA) method. Generally, the DEA method evaluates the ability that the terminals have in converting inputs in outputs. More specifically, the inputs used in this study concern the infrastructures and the terminals equipment and the output concerns the terminals throughput represented by the number of TEUs handled. The model is applied to 30 European container terminals of 6 different countries, namely, Germany, Belgium, Spain, France, Netherlands and Portugal.

Generally, the TERTIR container terminals reveal low efficiency levels when compared to the other European terminals. The results also contribute to support the company when debating with the port authorities matters such as tariff reductions applied to their clients and the recently announced container terminal construction in Barreiro.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis; Efficiency; Container terminals



# Índice de matérias

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento e justificação do tema.....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Metodologia .....	4
1.4. Estrutura .....	5
 <b>2. Enquadramento do setor marítimo portuário.....</b>	 <b>7</b>
2.1. O conceito de porto e os diferentes terminais portuários .....	7
2.2. Caracterização do setor portuário da União Europeia.....	9
2.2.1. Enquadramento institucional e modelo de governação .....	9
2.2.2. Análise da movimentação de carga .....	10
2.3. Caracterização do setor portuário em Portugal .....	13
2.3.1. Enquadramento institucional e modelo de governação .....	14
2.3.2. Concessões .....	15
2.3.3. Grupo TERTIR – Terminais de contentores .....	16
2.3.3.1. Terminal de Contentores de Leixões .....	17
2.3.3.2. Terminais de Contentores de Lisboa .....	18
2.3.3.3. Terminal de Contentores de Setúbal .....	19
2.3.4. Análise da movimentação de carga .....	20
2.3.4.1. Movimentação da carga por tipo .....	20
2.3.4.2. Movimentação geral de carga por porto .....	21
2.3.4.3. Movimentação de carga por tipo e porto .....	22
2.3.4.4. Movimentação de carga contentorizada por porto .....	23
2.4. Conclusões do capítulo.....	24
 <b>3. Fundamentação teórica: a aplicação do método <i>data envelopment analysis</i> no setor portuário .....</b>	 <b>27</b>
3.1. Performance, produtividade e eficiência .....	27
3.2. Modelos para medir a eficiência técnica .....	30
3.3. <i>Data Envelopment Analysis</i> .....	32
3.3.1. Seleção de <i>decision making units</i> e de variáveis de <i>input</i> e de <i>output</i> .....	33
3.3.2. Vantagens .....	34
3.3.3. Desvantagens.....	35
3.3.4. <i>Data envelopment analysis</i> e <i>benchmarking</i> .....	35
3.3.5. Modelos.....	36
3.3.5.1. Modelo CCR .....	37

3.3.5.1.1. Modelo primal .....	38
3.3.5.1.2. Modelo dual.....	39
3.3.5.1.3. Exemplos ilustrativos .....	42
3.3.5.2. Modelo BCC .....	43
3.3.5.3. Algumas observações sobre os modelos CCR e BCC.....	45
3.4. Casos de aplicações do método <i>data envelopment analysis</i> no setor portuário .....	46
3.4.1. Casos de aplicação dos modelos CCR e/ou BCC.....	47
3.4.2. Casos de aplicação dos modelos CCR e/ou BCC e outros modelos comparativos ...	51
3.4.3. Casos de aplicação de outros modelos DEA .....	52
3.5. Conclusões do capítulo.....	53
<b>4. Modelo proposto.....</b>	<b>55</b>
4.1. Aplicação do método <i>data envelopment analysis</i> no setor portuário .....	55
4.1.1. Variáveis de <i>input</i> e de <i>output</i> a utilizar na avaliação de terminais de contentores ..	57
4.2. Especificações do modelo proposto .....	63
4.2.1. Variáveis de <i>input</i> e de <i>output</i> .....	64
4.2.2. <i>Decision making units</i> .....	66
4.2.3. Análise de correlação das variáveis de <i>input</i> e de <i>output</i> .....	70
4.2.4. Modelo <i>data envelopment analysis</i> .....	71
4.3. Conclusões do capítulo.....	72
<b>5. Aplicação do método <i>data envelopment analysis</i> e análise de resultados.....</b>	<b>75</b>
5.1. Aplicação dos modelos CCR e BCC.....	75
5.2. Interpretação dos resultados de acordo com o modelo CCR.....	77
5.2.1. Análise global.....	77
5.2.2. Análise dos terminais TERTIR .....	80
5.3. Interpretação dos resultados de acordo com o modelo BCC.....	83
5.4. Discussão dos resultados .....	84
5.5. Conclusões do capítulo.....	87
<b>6. Conclusões e recomendações de trabalho futuro.....</b>	<b>91</b>
6.1. Conclusões .....	91
6.2. Recomendações de trabalho futuro .....	93
<b>Bibliografia .....</b>	<b>95</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>101</b>
Anexo I - Evolução da carga movimentada por tipo entre 2008 e 2013 .....	101
Anexo II – Movimentação geral de carga por porto entre 2008 e 2013.....	101
Anexo III - Evolução da movimentação de carga contentorizada nos principais portos nacionais entre 2008 e 2013 .....	102

# Índice de figuras

Figura 1.1 - Metodologia da dissertação .....	4
Figura 2.1 - Um contentor de 20 pés .....	8
Figura 2.2 - Taxa anual de crescimento do volume transportado na UE .....	11
Figura 2.3 - Distribuição da mercadoria por tipo de carga na UE.....	12
Figura 2.4 - Áreas de negócio do grupo TERTIR .....	16
Figura 2.5 - Evolução da movimentação de carga por tipo entre 2008 e 2013 .....	20
Figura 2.6 – Movimentação geral de carga por porto entre 2008 e 2013.....	21
Figura 2.7 - Movimentação de carga nos principais portos nacionais em 2013 por tipo de carga .....	22
Figura 2.8 - Evolução da movimentação de carga contentorizada nos principais portos nacionais entre 2008 e 2013.....	24
Figura 3.1 – Medição da eficiência técnica com orientação para o <i>input</i> e para o <i>output</i> .....	29
Figura 3.2 – Fronteira de eficiência do modelo CCR com um <i>input</i> e um <i>output</i> .....	42
Figura 3.3 – Fronteira de eficiência do modelo CCR com dois <i>inputs</i> mantendo o mesmo <i>output</i> .....	43
Figura 3.4 - Fronteira de eficiência do modelo BCC com um <i>input</i> e um <i>output</i> .....	45
Figura 4.1 - Processo de descarga de contentores .....	57





# Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Top 20 de portos de contentores da UE.....	13
Tabela 2.2 - Características do Terminal de Contentores de Leixões .....	17
Tabela 2.3 - Características do Terminal de Contentores de Alcântara Sul.....	18
Tabela 2.4 - Características do Terminal de Contentores de Santa Apolónia .....	19
Tabela 2.5 - Características do Terminal Marítimo do Sado.....	19
Tabela 3.1 - Tabela resumo da revisão bibliográfica efetuada.....	48
Tabela 4.1 - Possíveis variáveis de <i>input</i> a utilizar na avaliação do fator mão-de-obra.....	58
Tabela 4.2 - Possíveis variáveis de <i>input</i> a utilizar na avaliação do fator infraestruturas .....	59
Tabela 4.3 - Possíveis variáveis de <i>input</i> a utilizar na avaliação do fator equipamentos .....	61
Tabela 4.4 - Possíveis variáveis de <i>output</i> na aplicação do método DEA a terminais de contentores.....	62
Tabela 4.5 - Frequência das variáveis de <i>input</i> identificadas na revisão bibliográfica .....	65
Tabela 4.6 - Frequência das variáveis de <i>output</i> identificadas na revisão bibliográfica .....	66
Tabela 4.7 - Caraterísticas das 30 DMUs selecionadas.....	68
Tabela 4.8 - Coeficientes de correlação entre as variáveis de <i>input</i> e de <i>output</i> selecionadas....	70
Tabela 4.9 - Variáveis de <i>input</i> e de <i>output</i> selecionadas .....	70
Tabela 5.1 - Valores <i>score</i> de eficiência obtidos segundo os modelos CCR e BCC.....	76
Tabela 5.2 - Variáveis folga e valores-meta da variável de <i>output</i> TEUs movimentados (número) dos terminais TERTIR .....	81
Tabela 5.3 - Variáveis folga e valores-meta para a variável de <i>input</i> pódicos de cais (número) dos terminais TERTIR .....	82
Tabela 5.4 - <i>Benchmarks</i> dos terminais TERTIR.....	83



# Abreviaturas

AP	–	Autoridade portuária
BCC	–	<i>Banker Charnes Cooper</i>
EBITDA	–	Earnings before interests, taxes, depreciation and amortization
CAPEX	–	Despesas de capital
CCR	–	<i>Charnes Cooper Rhodes</i>
CRS	–	<i>Constant returns to scale</i>
DEA	-	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	–	<i>Decision making unit</i>
EA	–	Eficiência alocativa
EE	–	Eficiência económica
ESPO	–	<i>European Sea Ports Organisation</i>
ET	–	Eficiência técnica
FDH	–	<i>Free disposal hull</i>
FEPORT	-	<i>Federation of European Private Ports Operators</i>
IMT	–	Instituto de Mobilidade e Transportes
OPEX	–	Despesas operacionais e de manutenção
PIB	–	Produto interno bruto
SFA	–	<i>Stochastic Frontier Analysis</i>
TCA	–	Terminal de Contentores de Alcântara Sul
TCL	–	Terminal de Contentores de Leixões
TCSA	–	Terminal de Contentores de Santa Apolónia
TEU	–	<i>Twenty equivalent unit</i>
TFL	–	Terminal futuro de Lisboa
TMCD	–	Transporte marítimo de curta distância
UE	–	União Europeia
VRS	–	<i>Variable returns to scale</i>



# Símbolos

$DMU_0$  – DMU da amostra em análise

$DMU_j$  – DMU da amostra

$h_0$  – Rácio entre a soma ponderada dos outputs e a soma ponderada dos inputs para a  $DMU_0$

$m$  – Número total de *inputs*

$n$  – Número total de DMUs da amostra

$s$  – Número total de *outputs*

$s_i^-$  – Folga do *input*  $i$

$s_r^+$  – Folga do *output*  $r$

$u_r$  – Peso ou multiplicador associado ao *output*  $r$

$v_i$  – Peso ou multiplicador associado ao *input*  $i$

$x_{ij}$  – Quantidade do *input*  $i$  consumida pela  $DMU_j$

$x_{i0}$  – Quantidade do *input*  $i$  consumida pela  $DMU_0$

$y_{rj}$  – Quantidade do *output*  $r$  produzida pela  $DMU_j$

$y_{r0}$  – Quantidade do *output*  $r$  produzida pela  $DMU_0$

$z$  – *Score* de eficiência (modelo primal)

$\varepsilon$  – Elemento não-arquimídiano menor que qualquer número positivo

$\theta$  – *Score* de eficiência (modelo dual com orientação para o *input*)

$\lambda_j$  – Contribuição da  $DMU_j$  para a avaliação de eficiência

$\mu_r$  – Peso ou multiplicador associado ao *output*  $r$

$\varphi$  – *Score* de eficiência (modelo dual com orientação para o *output*)



# Glossário

**Dragagem** – Serviço de desobstrução, remoção ou escavação de material do fundo de rios, lagoas, mares, baías e canais de acesso a portos com o objetivo de manter ou aumentar a profundidade.

**Eficiência alocativa** – Refere-se à capacidade de uma unidade de produção utilizar os *inputs* em proporções ótimas, dados os seus respectivos preços e obter um determinado nível de *output* com o menor custo, ou, para um determinado nível de custos, obter a máxima quantidade de *outputs*.

**Eficiência técnica** – Refere-se à capacidade de uma unidade de produção obter o máximo nível de *output* para um determinado nível de *input*, ou à capacidade de se produzir um determinado nível de *output* com a menor combinação possível de *inputs*.

**Pilotagem** – Serviço que consiste na assistência técnica aos Comandantes das embarcações nos movimentos de navegação e manobras nas águas sob soberania e jurisdição nacionais, de modo a proporcionar que os mesmos se processem em condições de segurança.

**Rebocadores** – Embarcações utilizadas para rebocar navios de grande dimensão em manobras delicadas de atracação e desatracação.

**Service Port** – Neste modelo de governação a autoridade portuária é proprietária de todos os bens e funções portuárias de prestação e regulação, sendo este um modelo público de gestão. A autoridade portuária possui todas as infraestruturas e supraestruturas do porto e contrata o pessoal necessário à prestação dos serviços.

**Serviços feeder** – Navios alimentadores (ou navios *feeder*) que prestam serviço de transporte de carga de portos de grande dimensão/portos de *transshipment* para portos de menor dimensão/portos regionais ou o inverso.

**Tool Port** – Neste modelo de governação existe alguma participação do setor privado na gestão do porto. A autoridade portuária assegura as infraestruturas e supraestruturas, mas podem ser contratadas entidades privadas de estiva, para operar a bordo dos navios e nos cais de descarga.

***Transshipment/Hub ports*** – Atividade de descarga, completa ou parcial, feita normalmente a partir de um grande navio de linha designado por navio-mãe (ou *mother ship*), dos contentores para terra, implicando tais operações uma maior ou menor permanência dos contentores em terra sendo que serão depois transportados para outro navio, o navio-alimentador (ou navio *feeder*), até ao seu destino final (Dias, 2013).



# 1. Introdução

Neste capítulo é realizada a introdução ao tema a abordar e é descrita a motivação que sustentou a presente dissertação. São, adicionalmente, apresentados os objetivos e a metodologia utilizada, terminando o capítulo com a estrutura da dissertação.

## 1.1. Enquadramento e justificação do tema

Desde a época dos descobrimentos, no início do século XV, o transporte marítimo tem vindo a adquirir uma considerável importância na economia mundial. Com a globalização, o transporte marítimo e, conseqüentemente, os portos, tornaram-se fundamentais para alavancar o desenvolvimento do comércio internacional de um país. De acordo com o UNCTAD (2014) cerca de 90% do comércio internacional é transportado via marítima tendo sido movimentadas, no ano de 2013, 9.6 bilhões de toneladas de carga.

O transporte marítimo é visto como um dos meios de transporte mais viável, que engloba um largo número de destinos no mundo, acabando por apresentar, para uma determinada distância a percorrer, o menor custo por unidade de peso. Por outro lado, possui a vantagem de poder transportar qualquer tipo de carga, em boas condições de acondicionamento, desde químico, combustível, alimentar, areia, cereal, minério, automóvel, entre outros. Importa também sublinhar que o transporte marítimo de mercadorias é uma forma limpa, de uma perspetiva ambiental, de transporte e, por essa razão, tem vindo a ganhar uma maior importância relativamente ao transporte aéreo e rodoviário (Micco & Pérez, 2001).

Em particular, o transporte via contentores tem vindo a ser cada vez mais utilizado devido às inúmeras vantagens técnicas e económicas que este oferece face aos outros modos tradicionais de transporte (Cullinane & Wang, 2010). Existindo em tamanhos padronizados, os contentores permitem o transporte de carga de uma forma eficiente e segura, facilitando o transporte e a arrumação da carga dentro dos navios. A evolução da tecnologia permitiu, ainda, o desenvolvimento de *softwares* especializados para o carregamento de contentores, permitindo desta forma a otimização tanto de espaço nos navios e nos terminais, como de tempo de carga/descarga. Por outro lado, os contentores vieram revolucionar o transporte intermodal, uma vez que as suas características facilitam a mudança do contentor para outros tipos de transporte. De acordo com o UNCTAD (2014), cerca de 651.1 milhões de TEUs foram movimentados em 2013, representando um aumento de 5,6% relativamente ao ano anterior.

Com a evolução do mercado, a construção de navios de maiores dimensões e consequentes terminais de *transshipment*, e a maior tecnologia investida no setor portuário, a competição entre portos alcançou níveis que exigem maior eficiência de toda a estrutura portuária que tem vindo a aumentar a sua complexidade. Atualmente, e devido ao ambiente de competição portuária que se assiste, os armadores podem escolher de entre diversos portos aumentando o risco de um determinado porto perder o seu cliente base (Wang *et al*, 2005) citado em Simões e Marques (2010). Este é um assunto particularmente sério na Europa, onde, por exemplo, um porto no sul (em Portugal ou Espanha) pode ser substituído por um porto na Holanda ou na Alemanha (Simões & Marques, 2010). Num cenário com esta complexidade, a redução dos custos operacionais pode concretizar-se numa importante vantagem competitiva, quer por redução de tempo de trabalho, quer por redução de espaço.

Para melhorar a vantagem competitiva de um porto, as taxas portuárias desempenham um papel crucial na angariação de clientes ou armadores. Oferecendo os mesmos serviços, um preço mais baixo atrai mais clientes e vice-versa (Ishii *et al*, 2013). Um fator ainda mais importante para melhorar a vantagem competitiva de um porto passa pela eficiência da operação portuária. O custo de operação dos navios não se compadece com estadias demoradas nas operações de carga/descarga pelo que a rapidez no processamento destas operações é fundamental para a rentabilidade dos navios (Ishii *et al*, 2013). Por outro lado e do ponto de vista do operador portuário, as infraestruturas e supraestruturas representam custos elevados na operação (cerca de 30%), pelo que este investimento deve ser rentabilizado através da maximização da sua utilização.

Face ao descrito é determinante medir a eficiência nos portos. A avaliação da eficiência traduz e evidencia a capacidade de um porto em combinar os seus recursos, ou *inputs*, para produzir um determinado serviço, ou *output*. O objetivo de um estudo de eficiência passa por encontrar soluções que auxiliem os portos a alcançar uma produtividade elevada e, consequentemente, um custo reduzido por unidade de carga movimentada (Wiegmans, 2009). Assim, um porto é considerado eficiente quando produz o máximo de *output* a partir de um conjunto de *inputs* ou quando utiliza o mínimo de recursos para produzir um determinado *output*.

Os estudos mais recentes utilizam maioritariamente o *benchmarking* como ferramenta de avaliação de eficiência dos portos. A ideia do *benchmarking*, quando aplicado a qualquer setor produtivo ou de serviços, é comparar unidades/empresas que transformam o mesmo tipo de recursos (*inputs*) no mesmo tipo de produtos e serviços (*outputs*) (Bogetoft & Otto, 2012). Desta forma, os portos poderão identificar a sua posição em relação a outros, quer nacionais quer internacionais, no que diz respeito ao consumo de recursos por unidade de carga movimentada.

Neste contexto será realizado um estudo de *benchmarking* dos terminais de contentores TERTIR. Para além do que foi referido, este estudo tem uma relevância particularmente importante para o grupo TERTIR dada a necessidade enunciada por parte do governo português em rever e renegociar os atuais contratos de concessão do grupo TERTIR, pelo que é importante que a empresa analise o seu enquadramento no contexto portuário europeu. Segundo o grupo TERTIR, os terminais de contentores em Portugal estão sujeitos a pagamentos de rendas, quer fixas quer variáveis, muito elevadas quando em comparação com os seus congéneres Europeus tornando, desta forma, a operação mais cara para os seus clientes. Por outro lado, o governo pretende que os operadores portuários em Portugal baixem os tarifários aos seus clientes argumentando que são muito elevados quando comparados com os terminais Europeus. O grupo TERTIR alega, também, que a utilização das infraestruturas, pelas quais paga rendas, está na maior parte dos casos longe de uma ocupação eficiente e que o desenvolvimento de novos terminais, em determinadas regiões, por exemplo Lisboa e, neste caso, o anunciado terminal do Barreiro, só irá prejudicar a desejada eficiência sem a qual não é possível uma redução importante dos tarifários cobrados aos armadores seus clientes. Neste contexto, esta dissertação procura desenvolver um modelo que sustente os argumentos defendidos pelo grupo TERTIR, nomeadamente no que se refere à redução dos tarifários praticados aos seus clientes e à anunciada construção do terminal de contentores do Barreiro. Pretende-se, também, que o modelo possa auxiliar o grupo noutras questões que possam vir a surgir quando da sua aplicação aos terminais de contentores.

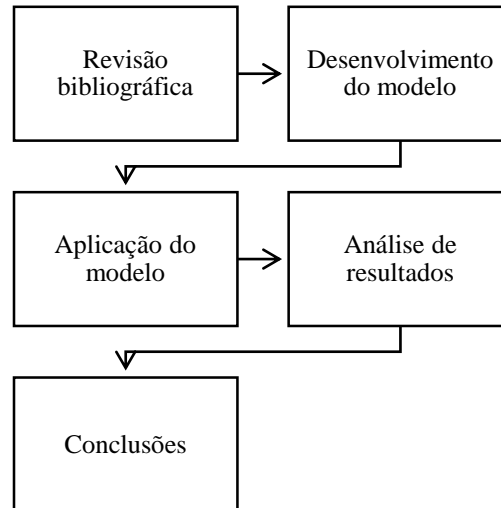
### 1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo apoiar o grupo TERTIR nos seguintes pontos fundamentais:

- Com base num método matemático, o método *Data Envelopment Analysis* (DEA), pretende-se avaliar a eficiência dos terminais de contentores da empresa, nomeadamente os de Lisboa, Leixões e Setúbal, comparando-os com outros terminais de contentores inseridos no setor portuário Europeu;
- Identificar as ações que devem ser tomadas de modo a melhorar a eficiência dos terminais de contentores estudados;
- Apoiar o grupo TERTIR no debate de algumas questões atuais com as autoridades portuárias, nomeadamente no que se refere à redução dos tarifários praticados aos seus clientes e à anunciada construção do terminal de contentores do Barreiro;
- Apoiar o grupo TERTIR noutras questões que possam surgir durante o desenvolvimento desta dissertação.

### 1.3. Metodologia

A metodologia utilizada na realização desta dissertação assenta em 5 fases distintas, nomeadamente, 1) Revisão bibliográfica, 2) Desenvolvimento do modelo, 3) Aplicação do modelo, 4) Análise de resultados e 5) Conclusões (figura 1.1).



**Figura 1.1 - Metodologia da dissertação**

Numa primeira fase foi efetuada uma revisão bibliográfica sobre o método DEA, maioritariamente no domínio do setor portuário. Para o efeito, foram consultados artigos científicos que aplicaram o método DEA a portos e terminais e construiu-se uma base teórica que sustentou o desenvolvimento de toda a dissertação.

Posteriormente, foi definido o modelo DEA que melhor se adequava aos terminais de contentores TERTIR, tendo como base a revisão bibliográfica desenvolvida na fase anterior. Foi, também, definida a amostra de terminais de contentores a inserir no modelo e efetuada a recolha dos dados referentes aos terminais selecionados.

Numa terceira fase, depois de definido o modelo e recolhidos os dados necessários, foi efetuada a sua aplicação. Nesta fase, procurou-se, em primeiro lugar, validar os resultados obtidos e, seguidamente, realizou-se uma análise crítica dos resultados referentes ao *benchmarking* e teceram-se comentários relevantes que procuraram apoiar o grupo TERTIR nos processos de gestão dos seus terminais de contentores no que se concerne à sua eficiência.

Por fim, a metodologia terminou com a fase de conclusão. Nesta fase foram compiladas as conclusões relativas ao trabalho desenvolvido e refletiu-se sobre as mais-valias que esta dissertação trouxe para o grupo TERTIR. Adicionalmente, foram indicadas ideias a desenvolver

para dar continuidade ao trabalho desenvolvido nesta dissertação e elaboradas algumas recomendações para trabalho futuro.

### **1.4. Estrutura**

A presente dissertação divide-se em seis capítulos distintos.

No primeiro capítulo é efetuado o enquadramento do tema em estudo, bem como apresentados os objetivos a atingir e a metodologia utilizada.

No segundo capítulo é efetuado um enquadramento do contexto marítimo-portuário na União Europeia e em Portugal. São focadas algumas questões como o enquadramento institucional e o modelo de governação dos portos, a organização das concessões e é, também, efetuada uma análise da movimentação da carga nos setores marítimos da União Europeia e de Portugal.

No terceiro capítulo é descrito o método matemático a utilizar na dissertação, o método DEA, e discutida a sua aplicabilidade no setor portuário. É, também, apresentada uma compilação de diversos artigos científicos consultados que aplicaram o método DEA a portos/terminais e que serviram como base teórica para o desenvolvimento da dissertação.

No quarto capítulo propõe-se o modelo a aplicar aos terminais de contentores selecionados para amostra. No quinto capítulo é aplicado o modelo proposto, sendo os resultados discutidos no sentido de analisar os terminais de Lisboa, Leixões e Setúbal pertencentes ao grupo TERTIR.

Por último, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões e definidas algumas propostas de trabalho futuro.



## **2. Enquadramento do setor marítimo portuário**

Antes de se efetuar um estudo de *benchmarking* em qualquer setor é fundamental entender o contexto e os fatores que o influenciam. Entender o contexto e os fatores que influenciam o setor portuário é o objetivo deste capítulo. É explicitado o conceito de porto e terminal e é, também, caracterizado o setor portuário da União Europeia e de Portugal e apresentado o grupo TERTIR, objeto de estudo desta dissertação.

### **2.1. O conceito de porto e os diferentes terminais portuários**

O conceito de porto não é unânime entre os diversos autores nacionais e internacionais (Bichou & Gray, 2005). O conceito de porto tem sido aplicado a pequenos cais para atracação de um navio até polos logístico de grande escala que compreendem vários terminais associados a um *cluster* de indústrias e serviços. Sendo o foco da presente dissertação a análise de portos movimentadores de carga ou portos comerciais, será utilizada a definição de porto no seu âmbito mais genérico. De acordo com Dias (2005) “um porto é um local que possibilita adequadas condições de ancoragem e permanência de navios, de forma relativamente segura, podendo estes abrigar-se de ventos e tempestades. As embarcações e navios procedem à acostagem/desembarque de passageiros e carga/descarga de mercadorias”.

Para que se dê a transferência modal de mercadorias, isto é, a mudança da mercadoria de um meio de transporte para outro, é necessário realizar um conjunto de atividades complementares, algumas delas em meio terrestre e outras em meio marítimo, na maior parte dos casos exercidas por diferentes entidades. São exemplos de algumas dessas atividades 1) o controlo do tráfego marítimo, 2) a recolha de resíduos, 3) a pilotagem, 4) a rebocagem, 5) a dragagem, 6) a manutenção de navios e 7) todos os serviços de carregamento/descarregamento associados à movimentação da carga.

Os portos podem ser divididos em terminais que, na maioria das vezes, são especializados na movimentação de um determinado tipo de carga. Geralmente, e em praticamente toda a Europa, os terminais são operados por entidades privadas, mas supervisionados por uma entidade pública, como será explicado mais à frente.

## 2. Enquadramento do setor marítimo portuário

Existem vários tipos de terminais portuários e a cada tipo estão normalmente associados meios de carga diferentes. No caso de terminais graneleiros, onde se movimentam cargas a granel do tipo sólido (ex: granéis alimentares) tem de haver gruas equipadas com acessórios especiais, tais como conchas, silos, tremonhas e tapetes rolantes. Para os granéis líquidos (ex: petróleo) tem de haver tanques e depósitos especiais, bem como as respetivas condutas e o necessário equipamento de abertura e fecho dos caudais (Dias, 2013). Nos cais ou terminais ro-ro a carga entra e sai pelos seus próprios meios (ex: viaturas), pelo que necessitam de infraestrutura em forma de terrapleno e plataformas rodoviárias e ferroviárias de carga e descarga da viatura, bem como de rampas de acesso aos navios.

Nos portos são frequentes e necessários terminais de carga geral, principalmente contentorizada, mas também fracionada. De facto, à medida que o tempo passa a movimentação de carga geral fracionada vai sendo transferida para contentores (Dias, 2013). Um contentor é basicamente uma unidade de carga para transporte de carga, estando equipado com um encaixe em cada um dos cantos, a fim de permitir a sua movimentação através de pórticos de cais e outros. O contentor obedece a dimensões normalizadas definidas pelos padrões ISO. Quando se fala em contentores utiliza-se a medida unitária *twenty-foot equivalent unit* (TEU) que corresponde a 20 pés. Os contentores podem ter 20 pés (1 TEU) (figura 2.1) ou 40 pés (2 TEUs).



**Figura 2.1 - Um contentor de 20 pés**

O contentor, enquanto unidade de carga, foi construído de forma normalizada para que fosse possível que uma grande carga fosse movimentada mecanicamente de uma só vez (Dias, 2013). Graças às suas características, o contentor trouxe a revolução industrial aos portos, uma vez que tornou possível reduzir a necessidade de mão-de-obra, melhorar a produtividade das operações, diminuir a incerteza na operação portuária, reduzir a estadia dos navios nos terminais, melhorar as condições de segurança, entre outras. Além de tudo isto, enquanto unidade de carga, permitiu o conceito do transporte porta-a-porta (Dias, 2013). O contentor tornou o transporte marítimo mais económico revolucionando, assim, a economia mundial. Juntamente com a globalização, o contentor alterou o mercado portuário e veio intensificar a competição portuária.



## **2.2. Caracterização do setor portuário da União Europeia**

De acordo com European Commission (2013), os portos desempenham um papel fundamental na indústria dos transportes e são elementos geradores de riqueza, emprego e investimento.

Ao longo dos 70 mil quilómetros de costa da União Europeia (UE) e nos seus 28 estados membros, operam mais de 1200 portos comerciais. Cerca de 74% da carga transportada na Europa e mais de 385 milhões de passageiros passam pelos portos Europeus todos os anos utilizando serviços de ferry e cruzeiros (European Commission, 2013). Sem os portos a UE não seria uma força económica mundial.

Em seguida será apresentada uma breve descrição do quadro institucional e do modelo de governação atualmente aplicado na UE. Seguidamente será analisada a movimentação de carga na região em questão.

### **2.2.1. Enquadramento institucional e modelo de governação**

A UE supervisiona o setor portuário a nível institucional e governamental, financeiro e económico, de movimentação de carga e de competitividade, entre outros. Existem essencialmente duas organizações responsáveis pela gestão das principais atividades portuárias na UE, a *European Sea Ports Organisation* (ESPO) e a *Federation of European Private Ports Operators* (FEPORT). A ESPO foi fundada em 1993 e tem como principal função representar as autoridades, associações e administrações portuárias dos estados membros da UE e da Noruega. Possui, também, membros observadores noutros países vizinhos da UE de forma a assegurar que os seus portos tenham uma voz clara na UE (ESPO, n.d.). A FEPORT atua no sentido de representar os operadores dos terminais marítimos e das companhias de estiva dos portos pertencentes à UE (FEPORT, n.d.).

Nos últimos anos tem-se verificado, na maior parte dos países Europeus, e mesmo a nível mundial, a tendência para a saída do Estado do setor empresarial, com os governos a entregarem a privados ramos de atividade que, até então, eram geridos pelo setor público. “A nível da gestão portuária tem-se verificado o progressivo abandono da operação direta por parte das administrações portuárias em prol da gestão da área portuária, nas dimensões administrativas, sistemas de informação, relação com a comunidade envolvente e redução dos custos de transação entre os vários agentes, deixando aos agentes privados a operação portuária e a prestação dos serviços necessários ao funcionamento do porto, o modelo designado por *Landlord Port*” (Silva, Cardadeiro, & D’Alte, 2013). Neste modelo as infraestruturas são concessionadas a privados que

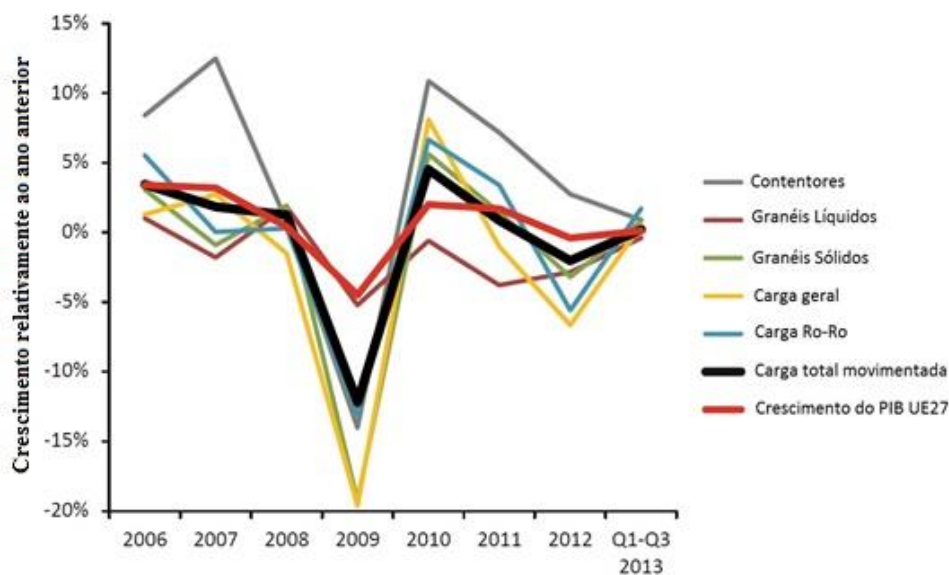
se comprometem a pagar uma tarifa anual de quantia fixa por metro quadrado às autoridades portuárias (APs) e, nalguns casos, também uma taxa variável em função da quantidade de carga movimentada. Os operadores privados detêm e mantêm as suas próprias supraestruturas e compram e instalam os equipamentos necessários nos terminais. Mais à frente nesta dissertação será descrita pormenorizadamente a sua aplicação em Portugal. Na Europa, a Alemanha e a Holanda seguem o modelo municipal de *Landlord Port*. Portugal, Espanha e França adotam o modelo de *Landlord Port*, mas com grande influência e controlo estatal. O Reino Unido é o único país da Europa cuja gestão portuária assenta noutro modelo o *Private Port*. Neste modelo o setor público não tem qualquer envolvimento ou interesse no setor portuário. Os restantes modelos, nomeadamente o *Service Port* e o *Tool Port*, ambos com maior influência e controlo estatal que os modelos *Landlord Port* e *Private Port*, poderão ser consultados no glossário.

As motivações para as privatizações, entendidas como uma mudança de posse do setor público para o setor privado, estão relacionadas com um conjunto de razões, nomeadamente, ideológicas, político-partidárias, económicas, financeiras, administrativas e de gestão e/ou cruzando-se, muitas vezes, umas com as outras (Carvalho, 2012). Em particular, no setor dos transportes e dos portos, a privatização tem sido fundamental na busca da eficiência. Por um lado, os portos ou terminais passaram a ser geridos por operadores especializados no negócio e detentores de um maior *know-how*. Por outro lado, a privatização promove a libertação dos governos de pesados encargos financeiros permitindo, assim, uma redução no défice orçamental e no endividamento público (Silva *et al*).

### 2.2.2. Análise da movimentação de carga

O sistema portuário Europeu movimentou em 2012 um total de 3,79 biliões de toneladas de mercadorias, destacando-se como um dos maiores sistemas portuários do mundo. O crescimento foi particularmente crescente no período pré-crise entre 2000 e 2008, em parte devido ao aumento da movimentação de carga contentorizada, registando-se uma taxa média de crescimento no volume total de carga transportado de 10,5% entre 2005 e 2008 e 7,7% entre 2000 e 2005 (Notteboom & de Langen, 2015). A crise económica que teve início no final de 2008 provocou uma descida no volume total de carga movimentado nos portos Europeus, apresentando um decréscimo no ano de 2009 de 12,2% (de 4,18 biliões de toneladas em 2008 para 3,67 biliões de toneladas em 2009) (figura 2.2). De notar que o crescimento do PIB acompanha as flutuações ocorridas a nível da movimentação de carga marítima, destacando-se a importância deste setor para a economia da UE e dos seus 27 estados membros (neste período a Croácia ainda não tinha aderido à UE).

## 2. Enquadramento do setor marítimo portuário



**Figura 2.2 - Taxa anual de crescimento do volume transportado na UE**

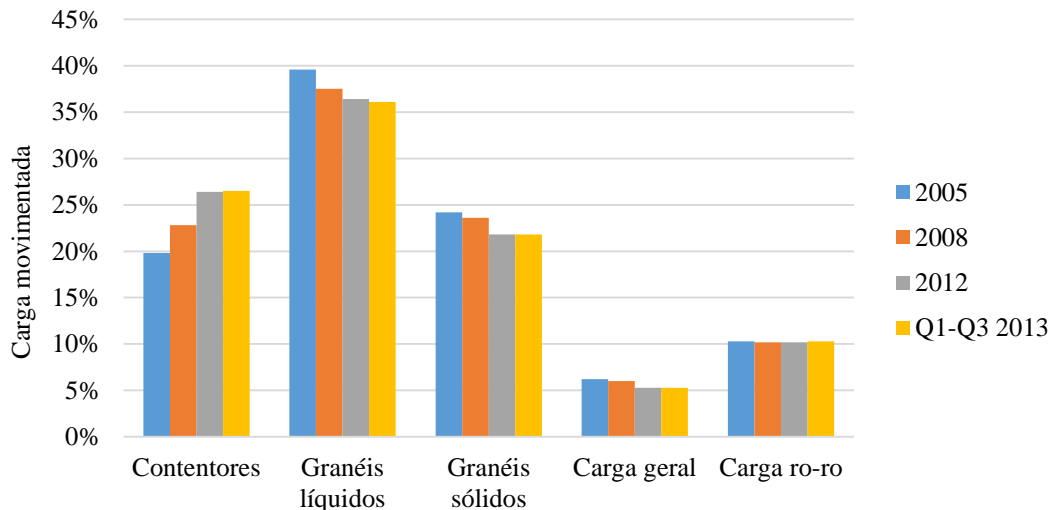
(Nota: Os valores estimados para Q1-Q3 2013 são estimações baseadas numa amostra de 60 portos Europeus incluídos no sistema comunitário de troca rápida (RAPEX))  
Adaptado de Notteboom & Langen (2015)

Em 2010 assistiu-se a um aumento acentuado no volume de carga transportado nos portos Europeus. No entanto, não foi possível recuperar os valores registados durante o período pré-crise, situação que se mantém até ao fim do período em análise. Verifica-se que a carga geral, a carga contentorizada e a carga ro-ro foram os três tipos de carga mais afetados pela crise em 2009, como se pode observar na figura 2.2. No entanto, a partir de 2010 o sistema portuário de contentores demonstrou uma elevada tendência de crescimento, ultrapassando em mais de 10% o volume de carga transportado em 2009. Até 2013 a taxa média anual de crescimento deste tipo de carga diminuiu gradualmente, registando-se uma taxa de crescimento quase nula no final desse ano. Os restantes tipos de carga apresentam uma tendência semelhante.

As evoluções apresentadas na figura 2.2 influenciaram a distribuição por tipo de carga no sistema portuário Europeu (figura 2.3).

A carga a granel líquida continua a representar o tipo de carga com maior quota de mercado, mas a sua importância desceu de 39,6%, em 2005, para 36,1%, em 2013. A carga contentorizada ao longo dos anos continua a ganhar uma maior importância no setor portuário corroborando o que já foi referido relativamente às vantagens da utilização do contentor face aos restantes tipos de carga. De todos os tipos de carga analisados, é o que mais tem crescido na UE. Em 2013, 26,5% da carga na UE era movimentada em contentores.

## 2. Enquadramento do setor marítimo portuário



**Figura 2.3 - Distribuição da mercadoria por tipo de carga na UE**  
Adaptado de Notteboom & Langen (2015)

O transporte da carga a granel sólida tem vindo a diminuir gradualmente ao longo do período em análise com o aumento da movimentação da carga contentorizada. Relativamente à carga geral e à carga ro-ro, constata-se que ao longo do período em análise não ocorreu variações significativas no que diz respeito à sua movimentação.

Em seguida é caracterizado o setor do mercado de contentores na UE, nomeadamente no que diz respeito ao total da carga movimentada por porto.

Com um total de 94,48 milhões de TEUs movimentados no ano de 2013, o sistema portuário Europeu é considerado o segundo sistema com maior movimentação de contentores no mundo depois do sistema portuário Asiático (Notteboom & de Langen, 2015). Na tabela 2.1 apresenta-se a lista dos 20 portos de contentores da Europa, no ano de 2013, com maior volume de contentores movimentados (em  $10^3$  TEUs). De notar que a análise não se restringe apenas à UE.

Cerca de 74% da mercadoria transportada na Europa passa por pelo menos um dos 20 portos de contentores e 30% pelos portos que se encontram nas primeiras posições da tabela, sendo o porto de Roterdão o líder no mercado portuário de contentores, seguido pelos portos de Hamburgo e da Antuérpia. O porto de Sines é o único porto Português que consta da lista dos portos de contentores do top 20. Na verdade, os portos do grupo TERTIR, objeto de estudo esta dissertação, encontram-se muito aquém do volume de contentores movimentados pela maioria dos portos de contentores da lista do top 20.

**Tabela 2.1 – Top 20 de portos de contentores da UE**  
Adaptado de Eurostat (2013)

<b>Ordem</b>	<b>Porto</b>	<b>País</b>	<b>Movimentação de contentores (10<sup>3</sup> TEUs)</b>
1	Roterdão	Holanda	10 938
2	Hamburgo	Alemanha	9 302
3	Antuérpia	Bélgica	8 256
4	Bremerhaven	Alemanha	5 822
5	Valência	Espanha	4 339
6	Algeciras	Espanha	4 332
7	Gioia Tauro	Itália	3 652
8	Felixtowe	Reino Unido	3 434
9	Ambarli	Turquia	3 318
10	Piraeus	Grécia	3 199
11	Le Havre	França	2 299
12	Barcelona	Espanha	1 697
13	Genova	Itália	1 546
14	Southampton	Reino Unido	1 489
15	Mersin	Turquia	1 367
16	La Spezia	Itália	1 207
17	Gdansk	Polónia	1 189
18	Las Palmas	Espanha	1 016
19	London	Reino Unido	944
20	Sines	Portugal	931
<b>Total top 20</b>			<b>70 277</b>
<b>Total Europa</b>			<b>94 479</b>

Em seguida, é analisado o mercado portuário português e a influência do grupo TERTIR no mesmo.

### 2.3. Caracterização do setor portuário em Portugal

“Atualmente, o transporte marítimo, em Portugal, é responsável por cerca de 80% do tráfego de mercadorias internacional. No entanto, os valores que representam esta percentagem estão muito abaixo do potencial de um país que vê “passar à sua porta” grande parte dos fluxos internacionais marítimos” (Pereira, 2011).

O território continental está hoje dotado de nove portos comerciais, em que cinco constituem o usualmente designado sistema portuário principal – Leixões, Aveiro, Lisboa, Setúbal e Sines. Os outros quatro, Viana do Castelo, Figueira da Foz, Faro e Portimão, compõe o sistema portuário

secundário. Apesar de os portos portugueses terem registado ao longo da última década um aumento de 18% da carga movimentada (em peso), os portos nacionais não se encontram nos 20 maiores portos europeus (Silva *et al.*, 2013). No que diz respeito à carga contentorizada, Sines, como já foi referido, encontra-se na 20ª posição, beneficiando da movimentação *transshipment* que representa cerca de 2/3 da movimentação de contentores neste porto.

Na última década foram investidos cerca de 1 726,6 milhões de euros no setor portuário português, dos quais 825,6 milhões foram centrados apenas em infraestruturas portuárias de terminais de carga (APP, 2012).

Seguidamente será analisado o enquadramento institucional e o modelo de governação aplicado em Portugal, bem como o funcionamento das concessões portuárias. Feito este enquadramento, será apresentado o grupo em estudo, TERTIR, enquanto operador privado no setor portuário Português. Por último, será analisada a movimentação de carga do setor portuário em análise.

### **2.3.1. Enquadramento institucional e modelo de governação**

Os portos nacionais evoluíram nos últimos 15 anos de um modelo de *Tool Port* para um modelo de *Landlord Port* (Silva *et al.*, 2013). O modelo de *Landlord Port* foi inicialmente adotado em Lisboa, Leixões e Sines, por serem os portos de maior dimensão. Atualmente todos os portos em Portugal seguem este modelo.

Em Portugal os portos são administrados pelas APs, empresas públicas que, na sua área de jurisdição, detêm a responsabilidade integrada das matérias relacionadas com a segurança portuária, o controlo de tráfego marítimo e pilotagem e o controlo ambiental das atividades relacionadas com a exploração portuária. São, também, funções das APs a regulamentação de taxas a cobrar aos concessionários pela utilização dos portos e respetivos serviços, o desenvolvimento de contratos e licenças de concessões e a manutenção das infraestruturas terrestres e marítimas na sua área de jurisdição.

Cada porto é administrado por uma AP própria, com o estatuto de sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos detidos pelo Estado. O porto de Aveiro, por exemplo, é administrado pela AP de Aveiro, S.A. e o porto de Lisboa pela AP de Lisboa, S.A. As exceções referem-se a 3 portos, nomeadamente, Figueira da Foz, Portimão/Faro e Viana do Castelo, que se encontram sob a administração das AP de Aveiro, Sines e Leixões, respetivamente.

As APs são tuteladas pela Secretaria de Estado das Infraestruturas, Transportes e Comunicações, integrada no Ministério da Economia. A Secretaria de Estado das Infraestruturas, Transportes e Comunicações tem como funções supervisionar, definir orientações estratégicas e tutelar as áreas das infraestruturas, dos transportes e das comunicações, nos termos da legislação aplicável, e no respeitante às empresas que operam nestas áreas, nomeadamente as APs (Despacho nº 12100/2013, de 23 de Setembro de 2013). Importa assinalar que as APs não dependem do Orçamento de Estado, sendo autossuficientes, pelo que as receitas provêm quase exclusivamente de atividade própria, mormente das taxas e das rendas por si cobradas ou de fundos comunitários ou nacionais a que tenham acesso.

O Instituto de Mobilidade e dos Transportes (IMT) é um instituto público integrado na administração do Estado dotado de autonomia administrativa e financeira e património próprio. Este serviço de administração indireta do Estado tem por missão regular, fiscalizar e exercer funções de coordenação e planeamento, bem como supervisionar e regulamentar as atividades desenvolvidas nos setores das infraestruturas rodoviárias e dos transportes terrestres e supervisionar e regular a atividade económica do setor dos portos comerciais e transportes marítimos, de modo a satisfazer as necessidades de mobilidade de pessoas e bens, visando, ainda, a promoção da segurança, da qualidade e dos direitos dos utilizadores dos referidos transportes (IMT, n.d.).

Em resumo, o proprietário do porto é público, estando representado pelas APs, com funções de planeamento, de supervisão, coordenação e controlo da atividade e o operador portuário é uma entidade privada concessionada das diferentes atividades comerciais e regulada pelas APs (Silva *et al*, 2013).

### **2.3.2. Concessões**

De acordo com o Decreto-Lei nº 324/94 de 30 de Dezembro de 1994 uma concessão tem por objeto o direito de exploração comercial, em regime de serviço público, da atividade de movimentação de cargas, incluindo o respetivo estabelecimento.

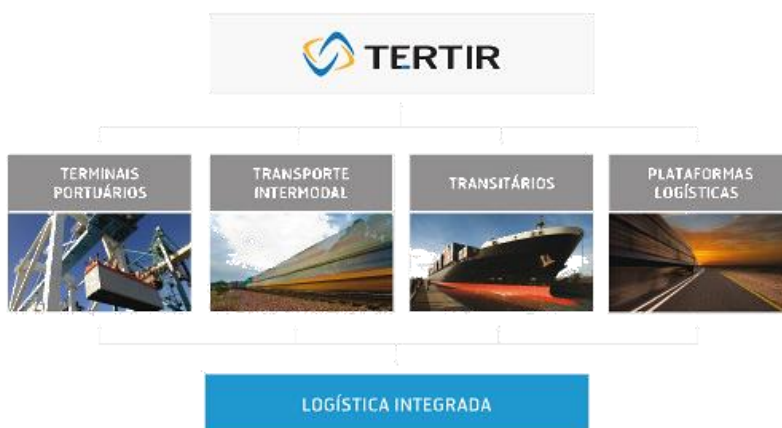
As concessões são atribuídas a operadores privados mediante um concurso público. Os concorrentes devem apresentar um plano geral de concessão compreendendo todas as obras, instalações e bens de apetrechamento, existentes e a implantar futuramente, um plano de funcionamento, contendo o sistema de operações e as soluções técnicas que serão adotadas para a sua exploração, e um plano financeiro de investimentos e exploração. A área afeta à concessão consta da planta obrigatoriamente anexa ao caderno de encargos.

No que se refere à exploração da concessão, esta é levada a cabo sob a responsabilidade da concessionária, em regime de serviço público e em conformidade com os regulamentos aprovados e as disposições aplicáveis da lei e do contrato.

O contrato de concessão é outorgado por prazo determinado, não superior a 30 anos, e deve ser estabelecido em função dos investimentos em equipamentos fixos ou em obras portuárias. Do ponto de vista financeiro, os contratos de concessão estabelecem rendas fixas e variáveis, estabelecidas de acordo com o Regulamento do Sistema Tarifário dos Portos Nacionais. As rendas fixas são referentes às infraestruturas e variam em função do comprimento do cais e da área do parque para armazenamento e para edifícios. As taxas variáveis são definidas em função da movimentação de carga realizada. Particularmente para o caso dos terminais de contentores, os operadores privados pagam às APs um valor fixo por cada contentor movimentado.

### 2.3.3. Grupo TERTIR – Terminais de contentores

O grupo TERTIR é atualmente integrante do grupo Mota-Engil. As raízes do grupo TERTIR assentam na gestão concessionada de terminais intermodais portuários e terrestres. O grupo tem quatro áreas de negócio principais, terminais portuários, transporte intermodal, transitários e plataformas logísticas, num conceito de logística integrada (figura 2.4).



**Figura 2.4 - Áreas de negócio do grupo TERTIR**

Nesta dissertação o foco central é a área de negócio do grupo TERTIR relativa aos terminais portuários, pelo que se seguirá uma apresentação dos mesmos com especial enfoque nos terminais de contentores (objeto de estudo desta dissertação e também o *core* do negócio da empresa). Importa referir que o grupo TERTIR é atualmente líder no setor portuário e um parceiro de referência no país.



Em Portugal Continental o grupo TERTIR detém importantes participações nas concessões dos terminais de contentores pertencentes aos portos de Leixões, Lisboa e Setúbal. Contudo, tem construído terminais de contentores na América Latina, designadamente no Peru, em Paita, e em Espanha, no Ferrol.

### 2.3.3.1. Terminal de Contentores de Leixões

O Terminal de Contentores de Leixões, S.A. (TCL) é a sociedade concessionária da atividade de movimentação de contentores do porto de Leixões. O grupo TERTIR é o acionista maioritário do TCL, tendo 55% de participação. O TCL iniciou a sua atividade operacional em Maio de 2000, data em que a exploração desta atividade passou a ser atribuída ao setor privado, na sequência de um processo de concessão efetuado pela AP de Leixões. O contrato de concessão concede à empresa 30 anos de exploração dos Terminais Norte e Sul de Contentores de Leixões.

O porto de Leixões, e consequentemente o seu terminal de contentores, é parte integrante do sistema portuário europeu, desempenhando um papel de relevo na fachada Atlântica da Península Ibérica, onde se assume como a estrutura inter-regional mais importante, sendo referência para as cadeias logísticas que operam nesta área.

São apresentadas, em seguida, as principais características do TCL, nomeadamente no que se refere às suas infraestruturas (área total, comprimento de cais e calado) e equipamentos (tabela 2.2).

**Tabela 2.2 - Características do Terminal de Contentores de Leixões**

		Quantidade		
	Características	Terminal Norte	Terminal Sul	Total
<b>Infraestruturas</b>	Área total (ha)	6	16	22
	Comprimento de cais (m)	360	540	900
	Calado (m)	10	12	
<b>Equipamentos</b>	Pórticos de cais STS Panamax		2	2
	Pórticos de cais STS Feeder	2	1	3
	Pórticos de parque	4	7	11
	Pórticos de ferro-carril		1	1
	<i>Reach Stackers</i>	1	1	2
	Empilhadores frontais	2	2	4

### 2.3.3.2. Terminais de Contentores de Lisboa

Em Lisboa, o grupo TERTIR detém uma elevada participação na concessão do Terminal de Contentores de Alcântara Sul (TCA) e do Terminal de Contentores de Santa Apolónia (TCSA), sendo o concedente de ambos os terminais a AP de Lisboa.

A Liscont é a empresa concessionária do TCA no porto de Lisboa. Foi fundada em 1984 e é o mais antigo operador privado em operação e beneficia da sua localização privilegiada, no coração do maior centro de produção e consumo de Portugal. A Liscont tem dois acionistas principais, o grupo TERTIR e a EUROGATE, sendo o maioritário o grupo Tertir (82,9% da empresa). As principais características do TCA podem ser consultadas na tabela 2.3.

**Tabela 2.3 - Características do Terminal de Contentores de Alcântara Sul**

	<b>Características</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Infraestruturas</b>	Área total (ha)	12
	Comprimento de cais (m)	630
	Calado (m)	14,5
<b>Equipamentos</b>	Pórticos de cais Post-Panamax	2
	Pórticos de cais Panamax	1
	Grua móvel Gottwald (100t)	1
	Pórticos de parque RTG	10
	Empilhadoras	3
	<i>Reach Stackers</i>	3
	Tratores	15
	Atrelados	16

A empresa concessionária do TCSA é a Sotagus. O grupo TERTIR é o único acionista da empresa. A Sotagus foi fundada em 2000 mediante a celebração de um contrato de concessão de serviço público com a AP de Lisboa. O TCSA dispõe de uma localização privilegiada, no coração de Lisboa, e de características, físicas e operacionais, que o tornam o parceiro de referência para serviços de transporte marítimo de curta distância (TMCD) e serviços *feeder* de ligação ao Norte da Europa e Mediterrâneo. É, também, o principal terminal do porto de Lisboa dedicado à Cabotagem Insular para a Madeira e Açores e aos serviços mistos de contentores e carga geral com destino à Costa Ocidental Africana. Apresentam-se, em seguida, as principais características do TCSA (tabela 2.4).

**Tabela 2.4 - Características do Terminal de Contentores de Santa Apolónia**

	<b>Características</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Infraestruturas</b>	Área total (h)	16,2
	Comprimento de cais (m)	742
	Calado 1	11,5*
	Calado 2	8,3
<b>Equipamentos</b>	Pórticos de cais Panamax	1
	Pórticos de cais Feeder	2
	Grua móvel Gottwald (100t)	1
	Pórticos de parque RTG	5
	Pórticos de parque RMG	6
	Empilhadoras	5
	<i>Reach Stackers</i>	4
	Tratores	19
	Atrelados	23

\*No TCSA existem dois calados diferentes, 11,5 m no cais avançado e 8,3 m no cais recuado.

### 2.3.3.3. Terminal de Contentores de Setúbal

A Sadoport - Terminal Marítimo do Sado, S.A. é a empresa operadora da concessão do Terminal de Multiusos da zona 2 do Porto de Setúbal, da qual o grupo TERTIR é acionista de 50%. A Sadoport foi fundada em 2004 mediante a celebração de um contrato de concessão de serviço público com a AP de Setúbal, tendo sido negociado um termo de concessão de 30 anos. O Terminal Multiusos da zona 2 localiza-se na área industrial de Setúbal e movimenta dois tipos de carga, a contentorizada e a geral. As principais características do Terminal Marítimo do Sado podem ser consultadas na tabela 2.5.

**Tabela 2.5 - Características do Terminal Marítimo do Sado**

	<b>Características</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Infraestruturas</b>	Área total (h)	20,1
	Comprimento de cais (m)	725
	Calado (m)	15
<b>Equipamentos</b>	Pórticos de cais Panamax	1
	Pórticos de cais Post-Panamax	1
	Grua móvel Gottwald (100t)	1
	Empilhadoras	3
	<i>Reach Stackers</i>	4
	Tratores	4
	Atrelados	3

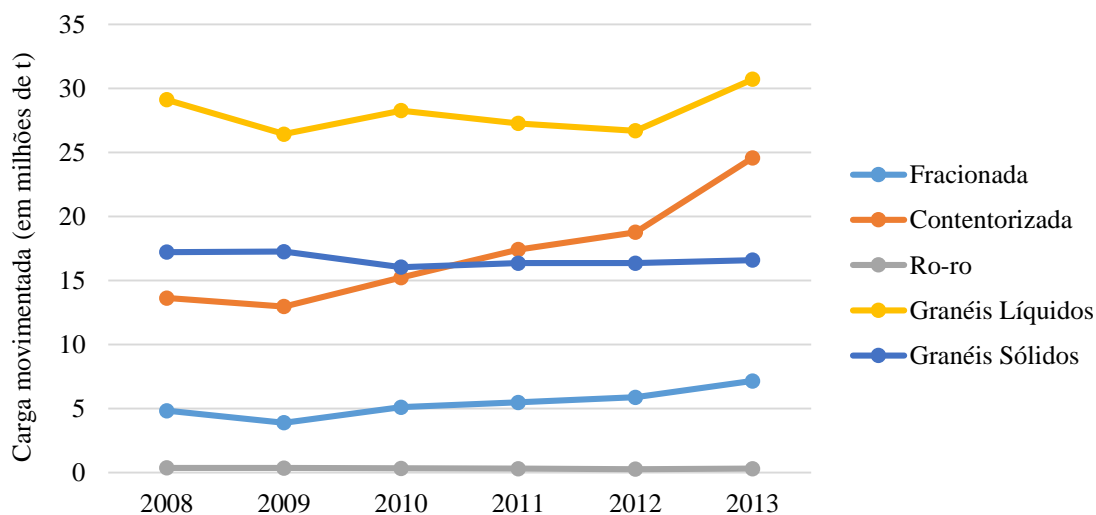
O grupo TERTIR detém, para além dos terminais de contentores de Leixões, Lisboa e Setúbal, participações em dois terminais de carga geral (em Aveiro e Setúbal) e um terminal de graneis alimentares (em Aveiro).

### 2.3.4. Análise da movimentação de carga

Pretende-se, neste subcapítulo, fazer uma análise da movimentação de carga nos portos de Portugal continental desde 2008 até 2013, estando subdividido em quatro secções. Na primeira é analisada a movimentação de mercadorias por tipo de carga ao longo do período referido. De seguida procede-se à análise da movimentação de carga total de cada um dos portos. Na terceira parte encontra-se descrito o tipo de carga movimentado por cada porto no ano de 2013. Por último, é apresentada uma análise da movimentação de contentores em cada porto durante os 7 anos alvo do estudo.

#### 2.3.4.1. Movimentação da carga por tipo

A figura 2.5 apresenta a carga movimentada por tipo de carga (em toneladas) de todos os portos do continente desde 2008 a 2013. Os tipos de carga dividem-se em: carga contentorizada, carga fracionada, carga ro-ro, graneis líquidos e graneis sólidos (IMT, 2014).



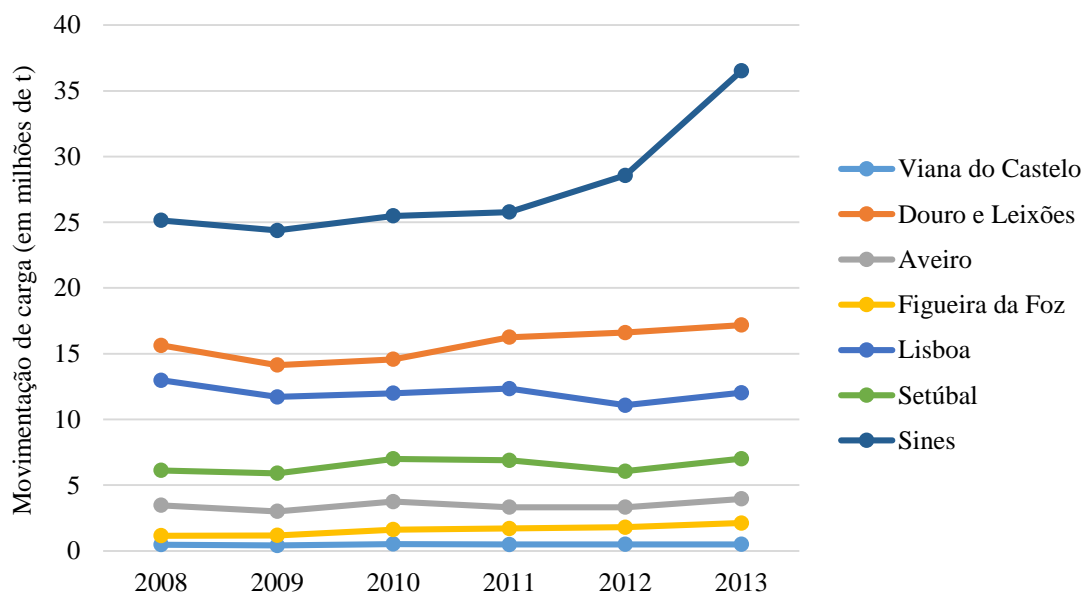
**Figura 2.5 - Evolução da movimentação de carga por tipo entre 2008 e 2013**  
Adaptado de IMT (2014)

Pela visualização da figura 2.5 é possível aferir que os graneis líquidos representam o tipo de carga com maior movimentação ao longo período em análise. Relativamente à carga contentorizada, há claramente uma tendência de crescimento a uma taxa média anual de crescimento de 13,5% (consultar Anexo I).

Em contrapartida, verifica-se uma ligeira diminuição na movimentação de carga de granéis sólidos, a uma taxa média anual de 0,68%. A carga fracionada tem revelado um ligeiro aumento no que diz respeito à sua movimentação, com uma taxa média anual de crescimento de 9,63%, ao passo que a movimentação da carga ro-ro apresenta um padrão de aproximada regularidade e estabilidade.

#### 2.3.4.2. Movimentação geral de carga por porto

A figura 2.6 indica o movimento geral de mercadorias em toneladas por cada um dos portos do continente desde 2008 até 2013. São estudados nesta subsecção os portos de Viana do Castelo, Douro e Leixões, Aveiro, Figueira da Foz, Lisboa, Setúbal e Sines.

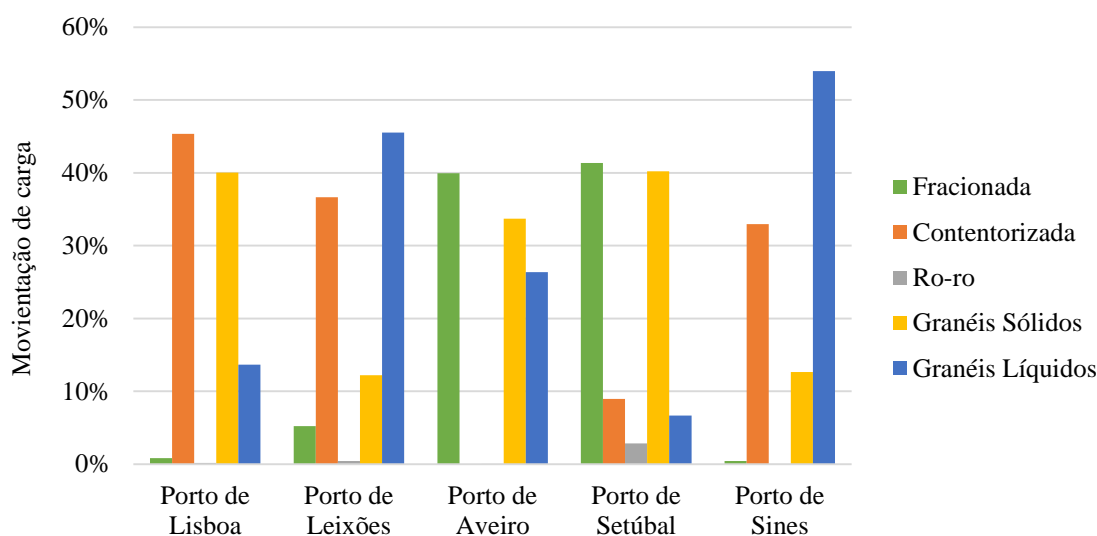


**Figura 2.6 – Movimentação geral de carga por porto entre 2008 e 2013**  
Adaptado de IMT (2014)

Através da leitura da figura 2.6 é possível aferir que o porto de Sines é o porto que definitivamente movimenta uma maior quantidade de carga em toneladas. Verifica-se, também, uma clara tendência de crescimento no movimento de carga pelo porto de Sines desde 2011 até 2013. Quanto aos restantes portos parece existir um padrão de estabilidade, com exceção do porto da Figueira da Foz que tem vindo a revelar uma tendência gradual de crescimento ano após ano. A taxa média de crescimento anual do referido porto é de 13,71% (consultar Anexo II).

### 2.3.4.3. Movimentação de carga por tipo e porto

Pretende-se nesta subsecção discriminar o tipo de carga movimentado anualmente por cada porto. Os dados analisados referem-se ao ano mais recente do período em análise, 2013. Importa também referir que foram apenas estudados os portos pertencentes ao sistema portuário principal (Aveiro, Leixões, Lisboa, Setúbal e Sines) para não tornar a análise muito extensa. Na figura 2.7 encontra-se representado graficamente a distribuição do tipo de carga nos principais portos nacionais no ano de 2013.



**Figura 2.7 - Movimentação de carga nos principais portos nacionais em 2013 por tipo de carga**  
Adaptado de IMT (2014)

A carga movimentada em 2013 no porto de Lisboa repartiu-se quase do mesmo modo entre granéis sólidos (40%) e carga contentorizada (45%), tendo sido apenas 15% do total repartidos pelos outros 3 tipos de carga. Uma parte significativa dos granéis sólidos movimentados pelo porto de Lisboa é constituída pelos cereais que Portugal compra no exterior. No porto de Lisboa existem dois terminais de contentores (Alcântara e Santa Apolónia) nos quais o grupo TERTIR detém participações maioritárias.

De entre os tipos de carga movimentados pelo porto de Leixões destacam-se os granéis líquidos (46%) e a carga contentorizada (37%). A análise conjunta das figuras 2.5, 2.6 e 2.7 permite concluir que o porto de Leixões tem um elevado contributo no que diz respeito à movimentação de carga de contentores e granéis líquidos em Portugal Continental. É de realçar que no porto de Leixões a exploração da movimentação de contentores se encontra sob a responsabilidade do TCL, do qual o grupo TERTIR é acionista maioritário (55%).

Os principais tipos de carga movimentados pelo porto de Aveiro são: carga fracionada (46%), granéis sólidos (34%) e granéis líquidos (26%), não movimentando carga contentorizada e carga ro-ro. Importa aqui relembrar que o grupo TERTIR detém participações na Socarpor (Aveiro) que opera no Terminal Sul de Aveiro (multiusos) e no Terminal de Granéis-Alimentares.

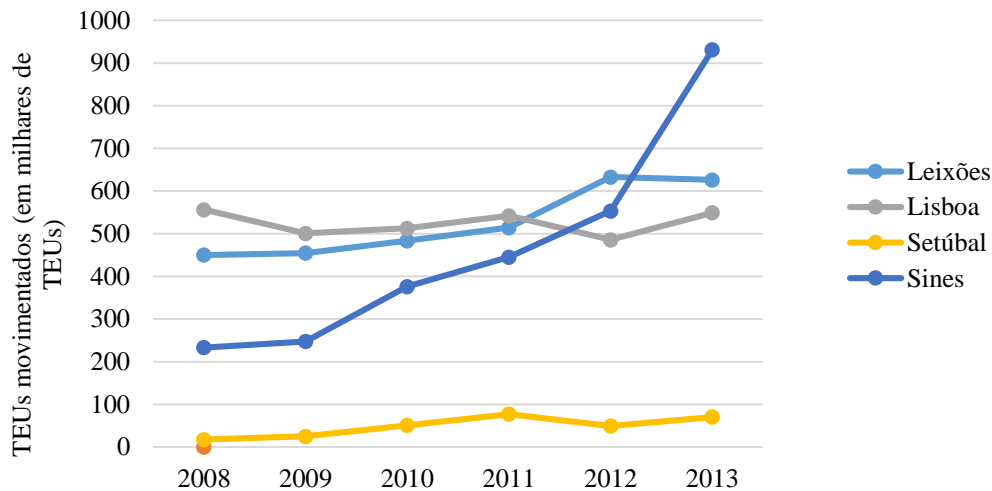
O porto de Setúbal movimentou sobretudo dois tipos de carga, fracionada e granéis sólidos, com 41 e 40% da carga, respetivamente. Os restantes não apresentam um peso importante no total da carga movimentada. O grupo TERTIR também opera no porto de Setúbal através da Sadoport (concessionária do Terminal marítimo do Sado cujo *core* assenta na movimentação de contentores) e da Tersado (concessionário do Terminal multiusos da zona 1 onde se movimentam granéis líquidos, granéis sólidos e carga ro-ro).

Pelo volume de carga movimentada, o porto de Sines pode ser caracterizado como um porto de granéis líquidos dado que estes representam mais de metade do total (54%), sendo determinante o facto de, por um lado, servir a refinaria e, por outro lado, proporcionar o desembarque do petróleo bruto e de produtos petrolíferos importados. O porto assume-se como um importante *hub* de *transshipment* de contentores, pelo que segue em segundo a carga contentorizada com 34% da carga total movimentada. Com base nas figuras 2.5, 2.6 e 2.7 poder-se-á, ainda, afirmar que o porto de Sines tem uma forte influência no que à movimentação de granéis líquidos e de carga contentorizada em Portugal Continental diz respeito.

### **2.3.4.4. Movimentação de carga contentorizada por porto**

Nesta dissertação são estudados apenas terminais de contentores, pelo que importa, também, analisar a movimentação de contentores em Portugal Continental por porto. A carga contentorizada é essencialmente movimentada pelos portos de Leixões, Lisboa, Setúbal e Sines. Em seguida é analisado o fluxo de movimentação de contentores de cada porto desde 2008 até 2013 (figura 2.8).

Analisando a evolução do tráfego de contentores (em TEU) por porto no período de 2008 a 2013, verifica-se que o crescimento global sustentado a uma taxa média de crescimento anual de 12,01% (consultar Anexo III) é bastante diferenciado a nível dos vários portos, merecendo particular destaque o porto de Sines cuja atividade tem vindo a aumentar chegando à posição dominante que ocupa hoje.



**Figura 2.8 - Evolução da movimentação de carga contentorizada nos principais portos nacionais entre 2008 e 2013**  
Adaptado de IMT (2014)

A taxa média anual de crescimento do porto de Sines, em TEU, é de 33,81%. A taxa média anual de crescimento mais elevada regista-se no porto de Setúbal com um valor de 41,08%. Apesar desta evolução, o porto de Setúbal é o que apresenta menos movimentação a nível de carga contentorizada. O porto de Lisboa regista uma taxa anual de crescimento de 0,17% apresentando variações crescentes e decrescentes na movimentação de contentorizada ao longo período.

#### 2.4. Conclusões do capítulo

De um modo geral, “um porto é um local que possibilita adequadas condições de ancoragem e permanência de navios, de forma relativamente segura, podendo estes abrigar-se de ventos e tempestades. As embarcações e navios procedem à acostagem/desembarque de passageiros e carga/descarga de mercadorias” (Dias, 2005). Um porto pode ser dividido em terminais que são, geralmente, especializados num determinado tipo de carga. Existem terminais graneleiros, onde se movimentam cargas a granel do tipo sólido e líquido, terminais ro-ro e terminais de carga geral, que movimentam carga contentorizada e fracionada. A movimentação de carga contentorizada tem vindo a aumentar relativamente à movimentação de outros tipos de carga, dadas as suas diversas vantagens. O contentor trouxe a revolução industrial aos portos, uma vez que permitiu melhorar a produtividade das operações, reduzir tempos de trabalho, melhorar as condições de segurança, entre outros. Juntamente com a globalização, o contentor tornou o mercado portuário mais competitivo.



## 2. Enquadramento do setor marítimo portuário

Na maioria dos países da UE, incluindo Portugal, o modelo de governação dos portos assenta num modelo de *Landlord Port*. Neste modelo as infraestruturas são concessionadas a privados que se comprometem a pagar tarifas anuais por metro quadrado às APs e, nalguns casos, também uma taxa variável em função da quantidade de carga movimentada.

Em Portugal Continental o grupo TERTIR detém importantes participações nas concessões dos terminais de contentores pertencentes aos portos de Leixões, Lisboa e Setúbal sendo, atualmente, líder no setor portuário português. Em Leixões, o grupo TERTIR é acionista maioritário do TCL, o terminal de maior dimensão do grupo, tendo este um total de 22 ha de área total e 900 m de comprimento. Em Lisboa, o grupo TERTIR detém uma elevada participação nas concessões do TCA, um terminal de 12 ha de área total e 630 m de comprimento e do TCSA, com 16,2 ha de área total e 742 m de comprimento. Por último, em Setúbal, opera o Terminal Marítimo do Sado com 20,1 ha de área total e 725 m de comprimento.

Na UE e em Portugal tem-se verificado, nos últimos anos, uma clara tendência de crescimento na movimentação da carga contentorizada e, consequentemente, um aumento da competição entre terminais de contentores. Ainda assim, os terminais do grupo TERTIR encontram-se muito aquém do volume de contentores movimentados pela maioria dos portos de contentores da lista do top 20 da Europa, no qual integra o porto de Sines, concorrente do grupo em Portugal.

No próximo capítulo serão apresentados os conceitos teóricos inerentes ao tema da dissertação e descrito o método selecionado para analisar a eficiência dos terminais TERTIR.



### **3. Fundamentação teórica: a aplicação do método *data envelopment analysis* no setor portuário**

Neste capítulo é efetuada uma abordagem aos fundamentos teóricos no âmbito do tema da dissertação. Primeiramente são descritos os conceitos de performance, produtividade e eficiência inerentes ao método *data envelopment analysis*. Em seguida, é descrito o método em questão e as suas aplicações, bem como os modelos CCR e BCC. Por último, é apresentada uma lista de estudos onde o método *data envelopment analysis* foi aplicado para avaliar *decision making units* que operam no setor portuário.

#### **3.1. Performance, produtividade e eficiência**

A avaliação da performance é essencial para as empresas se manterem competitivas e desempenha um papel fundamental no mercado global onde a competição é intensa e está em constante crescimento (Zhu, 2014). A avaliação da performance é o processo pelo qual uma organização estabelece parâmetros e metas para verificar se está a alcançar os resultados pretendidos (Zhu, 2014). Segundo Tangen (2005) a performance é considerada um termo geral que engloba tanto os aspetos económicos como os aspetos operacionais de uma empresa. Engloba fatores como a rentabilidade, a produtividade, a qualidade, a prestação de serviços e a flexibilidade.

A avaliação da produção é uma componente da avaliação da performance. A produção é definida como o processo pelo qual os *inputs* são combinados, transformados e convertidos em *outputs*. Podem ser considerados *inputs* recursos como materiais, capital, mão-de-obra, entre outros. Os *outputs* são geralmente os produtos acabados ou os serviços. Na avaliação da produção a unidade de produção é designada por *decision making unit* (DMU). O conceito de DMU refere-se a qualquer unidade de produção cuja capacidade de converter *inputs* em *outputs* está a ser avaliada. Este conceito é genérico e flexível e podem ser consideradas como DMUs hospitais, universidades, cidades, tribunais, bancos, entre outros (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011).

Eficiência e produtividade são dois conceitos muito importantes na avaliação da produção. De acordo com González e Trujillo (2008) a medição da eficiência está diretamente relacionada com

a medição da produtividade. Apesar de, muitas vezes, serem considerados sinónimos, os dois conceitos são distintos.

A produtividade é definida pelo rácio entre os *outputs* que são produzidos e os *inputs* utilizados (equação 3.1) e, consequentemente, está focada na eficiência da produção. O rácio define o quanto se produz em relação aos recursos utilizados (Sherman & Zhu, 2006).

$$Produtividade = \frac{Outputs}{Inputs} \quad (3.1)$$

Medir a eficiência de uma DMU reside na comparação do desempenho desta em converter *inputs* em *outputs* com o desempenho ótimo. Este último pode ser um desempenho teórico ideal ou um desempenho prático verificado (Farrell, 1957). Assim, a eficiência mede o quanto se produz em relação ao quanto se poderia produzir.

Cullinane & Wang (2006) referiram, especificamente para o setor portuário, que foi a intensa competição que caracteriza a indústria do setor em questão que estimulou um elevado interesse na avaliação da eficiência com que os portos/terminais utilizam os seus recursos. De facto, a análise da eficiência de portos/terminais tem um grande impacto na sobrevivência e na competitividade do mercado onde atuam. Esta análise não só fornece uma ferramenta poderosa de gestão para os operadores portuários, como também constitui uma base de informação para o planeamento das operações dos portos (Cullinane *et al*, 2006).

Nesta dissertação é abordado o conceito de eficiência técnica (ET), que consiste em produzir o máximo *output* possível para um determinado nível de *input*, ou o inverso, dependendo da orientação escolhida. Contudo, se existir informação de custos e preços unitários associados aos *inputs* e aos *outputs* pode ainda falar-se em eficiência alocativa (EA). Segundo Odeck e Bråthen (2012), a ET é um dos dois componentes da eficiência económica (EE). O outro componente diz respeito à EA, que se refere à capacidade de uma DMU produzir um determinado nível de *output* recorrendo a *inputs* nas suas proporções ótimas, dados os seus respetivos custos unitários. Conforme o trabalho desenvolvido por Farrell (1957), a EE é uma medida de avaliação de desempenho geral de uma DMU e é uma função de ET e de EA (equação 3.2).

$$EE = ET * EA \quad (3.2)$$

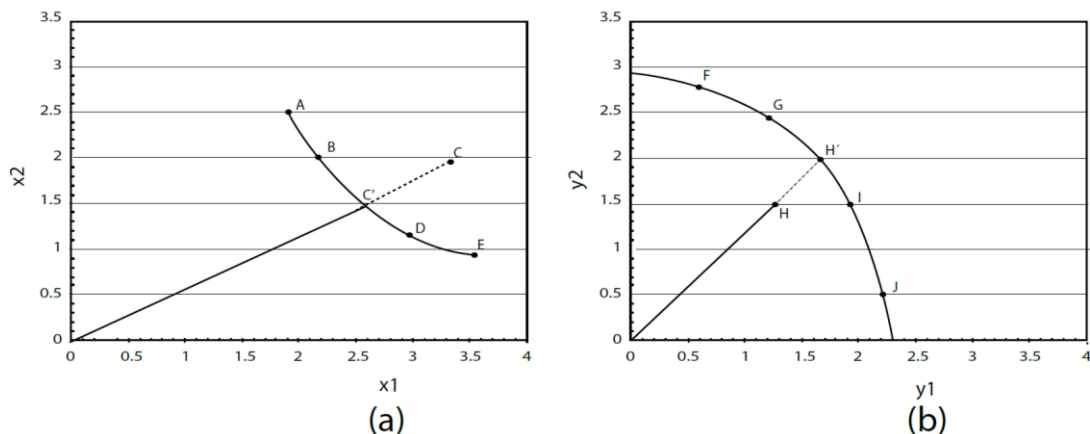
No setor portuário a ET é a medida de avaliação mais frequentemente utilizada. Ao contrário das medidas de EA e EE, a ET não exige informações acerca dos preços/custos das variáveis de *input*

que são geralmente complicadas de obter nesta área (Odeck & Bråthen, 2012). Nesta dissertação foi abordado o conceito de ET.

Muitos métodos de medição de eficiência propostos possuem em comum o conceito de fronteira de eficiência, uma vez que para estimar a eficiência de uma DMU, é necessário existir um padrão com o qual se irá realizar a avaliação (González & Trujillo, 2008). A fronteira de eficiência representa o desempenho ótimo. Os valores observados das DMUs em estudo são comparados com essa fronteira. As DMUs eficientes são as que operam na linha da fronteira, ao passo que as ineficientes operam abaixo desta (Cullinane, Song, & Gray, 2002).

Adicionalmente, a ET pode ser vista e medida segundo duas perspetivas: com uma orientação para o *input* ou com uma orientação para o *output*. Na primeira, a ET é baseada na redução dos *inputs* para produzir um determinado nível fixo de *output*. A orientação para o *output* tem em vista o aumento do nível de um *output* dado um nível fixo de *inputs* (Odeck & Bråthen, 2012).

Na figura 3.1 encontra-se representado um exemplo para clarificar os conceitos referidos.



**Figura 3.1 – Medição da eficiência técnica com orientação para o *input* e para o *output***  
Adaptado de Odeck & Bråthen (2012)

Na figura 3.1(a) são assumidos dois *inputs*,  $x_1$  e  $x_2$ , e um *output* fixo. Os pontos de A a E representam DMUs independentes e as suas respetivas utilizações de  $x_1$  e  $x_2$ . A linha que os une é a fronteira de eficiência, que representa as melhores combinações de utilização dos *inputs* envolvidos. Considerando que se pretende medir a ET segundo uma orientação para o *input*, constata-se que a DMU C representa uma DMU ineficiente, uma vez que para produzir a mesma quantidade de *output*, comparativamente com as outras DMUs, carece de maiores quantidades de  $x_1$  e  $x_2$ . Esta perda de ineficiência é medida através do rácio  $OC'/OC$ , onde  $C'$  é o ponto da intersecção da reta  $OC$  com a fronteira de eficiência. Assim,  $OC'/OC = 2.508/3.344 = 1.5/2 =$

0.75, pelo que a eficiência de C é de 75%. De notar que os valores do numerador e do denominador do rácio correspondem aos valores da abcissa de C' e C, respetivamente. Para atingir a fronteira de eficiência, a DMU C teria de fazer uma redução de 25% no consumo de *inputs*. As DMUs A, B e D são 100% eficientes e, como tal, localizam-se na fronteira de eficiência, pelo que não é possível reduzir os *inputs* consumidos sem se reduzirem também os *outputs* gerados.

Se se pretender avaliar a eficiência segunda uma orientação para o *output*, a interpretação é semelhante à já descrita, mas as DMUs ineficientes localizam-se abaixo da fronteira de eficiência, uma vez que esta é formada pelas DMUs que geram maiores valores de *outputs*. Na figura 3.1(b) estão representadas 5 DMUs e os respetivos *outputs* produzidos, Y1 e Y2. A DMU H é considerada tecnicamente ineficiente e o valor da eficiência é dado pelo rácio  $OH/OH' = 1.24/1.65 = 1.5/2 = 0.75$ , ou seja, 75%.

### 3.2. Modelos para medir a eficiência técnica

Existem três métodos científicos para quantificar e analisar a eficiência, nomeadamente a análise de rácios, a fronteira econométrica e o *data envelopment analysis* (DEA) (Barros, 2012).

A análise de rácios ou a análise de indicadores de desempenho são medidas parciais da produtividade de leitura e compreensão fáceis, mas cuja análise pode induzir a uma imagem distorcida da realidade (Simões & Marques, 2010).

A fronteira econométrica e o DEA são dois métodos que remetem para o conceito de fronteira de eficiência descrito anteriormente. Nas últimas três décadas, estes dois métodos têm sido desenvolvidos para estimar a fronteira de eficiência e medir a eficiência (González & Trujillo, 2008). Segundo Barros *et al.* (2012), estes dois métodos podem ser também designados por técnicas paramétricas e não paramétricas, respetivamente.

A aproximação paramétrica, por convecção, baseia-se numa função de produção que é estimada através da especificação paramétrica da função sendo depois ajustada aos dados observados através da minimização da sua distância à função estimada (Banker & Maindiratta, 1988). O método designado por *stochastic frontier analysis* (SFA) foi desenvolvido por Aigner *et al.* e Meeusen e van den Broeck (1977) sendo o método com maior utilização científica (Cullinane *et al.*, 2006). De um modo geral, este método baseia-se na determinação do *output* potencial ou teórico (máximo) que é possível obter utilizando um determinado nível de *input*. O método

assume que existe uma função paramétrica entre a produção de *inputs* e *outputs*. A fronteira de eficiência pode ser definida pela equação (3.3) (Wanke, Barbastefano, & Hijjar, 2011).

$$y_i = f(x, TE_i, V_i) \quad (3.3)$$

onde  $y_i$  representa o *output* observado da DMU  $i$ ,  $x$  é o vetor dos  $m$  *inputs* utilizados pela DMU  $i$ ,  $TE_i$  denota a eficiência técnica, definida como o rácio entre os *outputs* observados e os *outputs* máximos possíveis e  $V_i$  uma componente estocástica ou erro aleatório (Wanke *et al.*, 2011).

O método DEA é um método não-paramétrico desenvolvido inicialmente por Charnes, Cooper, e Rhodes (1978). Este método, ao contrário do SFA, utiliza diretamente os dados observados para construir a fronteira de eficiência. O método DEA utiliza uma sequência de técnicas de programação linear para definir uma fronteira que corresponderá ao desempenho ótimo observado entre as DMUs do conjunto.

Os dois métodos possuem vantagens e desvantagens. Por um lado, como indica Lovell (1993) citado por González e Trujillo (2008), a abordagem econométrica é estocástica e, desta forma, permite distinguir os efeitos de ruído dos efeitos da ineficiência, ao passo que as técnicas de programação linear não são estocásticas e podem interpretar os efeitos de ruído como uma ineficiência técnica das DMUs em estudo. Por outro lado, o método SFA requer a definição *a priori* de uma forma funcional da relação entre os *inputs* e o *output* e da distribuição de probabilidade da componente de ineficiência, tornando a aplicação do método mais adequada para casos em que se considera um *output*, apenas (Odeck, 2007). Segundo Cullinane *et al.* (2006) o método DEA não impõe uma forma funcional entre os *inputs* e o *output* ou qualquer pressuposto referente à distribuição estatística da componente do erro. Desta forma, os dados podem “falar por si”, minimizando o erro associado à especificação de pressupostos.

Os estudos baseados na determinação da ET dos portos ou terminais são feitos segundo dois métodos: SFA e DEA. Ambos apresentam vantagens e inconvenientes, embora o método DEA aplicado sob determinadas condições seja o mais robusto, como conclui Cullinane *et al.* (2006). Similarmente, de acordo com Wanke *et al.* (2011), o método DEA é o mais utilizado neste setor. Apesar das suas desvantagens, o método não-paramétrico mantém-se amplamente utilizado no setor do transporte, provavelmente devido ao sucesso com que é aplicado a diferentes situações. No entanto, é de notar o aumento dos estudos que recorrem à utilização de ambos os métodos, por forma a complementar as investigações no âmbito da eficiência portuária (Wanke *et al.*, 2011).

Nesta dissertação optou-se por aplicar o método DEA para avaliar a eficiência dos terminais portuários do grupo TERTIR, dadas as suas respetivas vantagens e a sua ampla utilização no setor portuário. Em seguida será caracterizado o método em questão.

### **3.3. Data Envelopment Analysis**

Nesta dissertação é aplicado o método DEA a um conjunto de terminais portuários. Mas o que é o método DEA? O método DEA é um método relativamente recente, com orientação para os dados, que tem como objetivo avaliar o desempenho de um conjunto de DMUs que convertem múltiplos *inputs* em múltiplos *outputs* (Cooper *et al.*, 2011).

O método DEA defende que se uma DMU é capaz de produzir X (*outputs*) com Y (*inputs*), então outras DMUs semelhantes também serão capazes de produzir o mesmo se operarem eficientemente (Wiegman, 2009).

O método DEA é um método não-paramétrico baseado em programação linear e é utilizado para calcular a eficiência relativa de um grupo de DMUs recorrendo a múltiplas medidas de *inputs* e *outputs* (Wanke *et al.*, 2011). Dado um conjunto de DMUs, *inputs* e *outputs*, o método DEA determina para cada DMU uma medida de eficiência obtida através do rácio entre a soma ponderada dos *outputs* e a soma ponderada dos *inputs* (Wanke *et al.*, 2011).

O método DEA baseia-se na estimação não paramétrica da fronteira de eficiência, sendo neste caso a fronteira constituída pelas DMUs com melhor desempenho (Cook & Seiford, 2009). Importa referir que o método foca-se essencialmente numa eficiência técnica e relativa. Como refere Sharma e Yu (2009), uma DMU é considerada ineficiente se o valor da sua eficiência for inferior a 1 (i.e.  $E < 1$ ). No entanto, se uma DMU é identificada como eficiente (i.e.  $E = 1$ ), não quer dizer necessariamente que esta DMU seja eficiente. Esta é apenas eficiente relativamente às outras DMUs consideradas.

Este método possui poucos pressupostos, o que faz com que possa ser aplicado num conjunto vasto e variado de situações e permita considerar diversas DMUs, *inputs* e *outputs* (Cooper *et al.*, 2011). Por essa razão, a modelação por DEA tornou-se popular na avaliação da eficiência em todo o mundo, tanto no desenvolvimento de modelos teóricos como na aplicação a casos reais. Isto é claramente constatado pelas inúmeras publicações científicas sobre o método DEA e a sua aplicação a diversos sectores, dos quais se podem destacar: saúde (Pulina, Detotto, & Paba, 2010), hotelaria (Rebelo, Matias, & Carrasco, 2013), manufatura (Costa, 2012), agricultura (Souza *et al.*, 2010), bancário (Najafi, Aryanezhad, & Farkoush, 2011), entre outros.



O método DEA mede a eficiência relativa das DMUs representadas, nesta dissertação, por cada terminal. Este método compara cada terminal com os terminais identificados como eficientes, através de uma fronteira de eficiência. Os valores de ineficiência das DMUs são calculados com base na distância a que se localizam desta fronteira. Os terminais mais eficientes são aqueles para os quais não há nenhum terminal, ou combinação linear de terminais, que produza mais de cada *output* (dado os respetivos *inputs*) ou, que utilize menos *inputs* (dado os respetivos *outputs*) (Simões & Marques, 2010).

### 3.3.1. Seleção de *decision making units* e de variáveis de *input* e de *output*

Antes de proceder à análise DEA, deve-se colocar a seguinte questão:

*“Quais as variáveis de input e as variáveis de output a utilizar por forma a caracterizar a performance das DMUs?”*

A eficiência das DMUs é diretamente afetada pelas variáveis de *input* e de *output*. Desta forma, as variáveis de *input* e de *output* devem ser selecionadas adequadamente por forma a representar a performance das DMUs. Geralmente, as variáveis identificadas como desejáveis devem ser consideradas *outputs* e as indesejáveis *inputs* (Morita & Avkiran, 2009).

É necessário ter em conta a disponibilidade dos dados. As DMUs em análise podem não divulgar os seus resultados ou os recursos que têm à sua disposição e, como tal, nem sempre é possível obter os dados numéricos pretendidos. Nesse caso, poderá ser necessário deixar de parte uma variável considerada relevante. Se for excluída uma variável de *input* ou de *output* importante, o modelo pode não representar a realidade e, desta forma, os resultados obtidos poderão estar incorretos (Sherman & Zhu, 2006).

Relativamente às DMUs, a amostra deve ser homogénea, isto é, as DMUs em estudo devem ser similares no seu funcionamento e características. Todas as DMUs devem utilizar o mesmo tipo de *inputs* e produzir o mesmo tipo de *outputs* (Sharma & Yu, 2009).

Um elevado número de variáveis de *input* e *output*, comparativamente com o número de DMUs, pode diminuir o poder discriminatório do método DEA. Nesta situação é provável que o método identifique um considerável número de DMUs eficientes (Zhu, 2014). Quanto maior o número de variáveis de *input* e *output*, maior é a dimensionalidade do espaço de soluções da programação linear, uma vez que existe uma maior porção de diferenças entre as DMUs. As DMUs comparadas tendem assim a deslocar-se para a fronteira de eficiência, pelo que o número de DMUs eficientes será mais elevado (Wagner & Shimshak, 2007). O grande desafio do método DEA é encontrar

um modelo rigoroso que utilize o menor número possível de variáveis de *input* e *output* necessárias. Estudos anteriores sugerem algumas abordagens para identificar as variáveis mais relevantes a serem incluídas no modelo DEA. Golany & Roll (1989) afirmam que o número de DMUs deve ser pelo menos o dobro do produto entre o número de variáveis de *input* e de *output*. Por outro lado, Banker, Charnes, & Cooper (1984) defendem que o número de DMUs deve ser pelo menos o triplo da soma entre o número de variáveis de *input* e *output*. No entanto, o cumprimento destes critérios não é obrigatório (Zhu, 2014). O mais importante na aplicação do método DEA é realizar uma correta análise da situação e identificar quais as variáveis que melhor refletem a performance das DMUs em estudo.

Panayides *et al.* (2009) e Lin & Tseng (2007) sugerem, também, antes da aplicação do método DEA, a realização de uma análise de correlação para que sejam incluídas apenas variáveis que apresentem uma elevada correlação com a medida da eficiência, isto é, as variáveis de *input* devem ter uma elevada correlação com as variáveis de *output*.

### 3.3.2. Vantagens

O conceito de DMU é geral e flexível e como tal, o método DEA pode ser aplicado em diversos contextos e situações, nomeadamente na avaliação da eficiência. O método DEA pode também ser utilizado em situações em que outros métodos não são aplicáveis, mais especificamente a casos onde se pretende recorrer a múltiplas variáveis de *input* e *output* (Cooper, Seiford, & Tone, 2007).

Sendo um método não paramétrico, não é necessária a modelação *à priori* de uma função que defina a fronteira de eficiência, evitando-se, desta forma, o problema associado à incorreta definição da fronteira (Odeck & Bråthen, 2012).

Por último, o método DEA é encarado como uma ferramenta de *benchmarking* (Avkiran, 2006). O método identifica uma DMU como ineficiente através da sua comparação com DMUs semelhantes consideradas eficientes, em vez de comparar o desempenho das DMUs com uma média estatística que poderá não ser aplicável à situação concreta. Além disso, o método DEA fornece valores meta para que as DMUs ineficientes reduzam o consumo de *inputs* ou aumentem a geração de *outputs*, dependendo da orientação escolhida (Avkiran, 2006).

### 3.3.3. Desvantagens

A principal desvantagem do método DEA é a possibilidade de indicar um considerável número de DMUs eficientes. Deve ter-se em conta a relação entre o número de DMUs e o número de variáveis de *input* e de *output* para evitar esta situação (ver secção 3.3.1).

O método DEA foca-se no conceito de eficiência relativa, pelo que uma DMU é eficiente apenas no contexto da amostra em que se insere. Por outro lado, na presença de uma amostra muito pequena, os resultados podem ser incorretos, uma vez que grande parte da amostra pode fazer parte da fronteira de eficiência.

Podem-se ainda referir como desvantagens a impossibilidade de se validarem e testarem estatisticamente os resultados e a não distinção dos fatores de ruído, que podem ser inadvertidamente considerados ineficiências técnicas das DMUs em análise (Odeck & Bråthen, 2012).

### 3.3.4. *Data envelopment analysis* e *benchmarking*

Avaliações de desempenho relativas ou, de acordo com a moderna terminologia, *benchmarking*, é o termo dado à comparação sistemática do desempenho de uma DMU relativamente ao de outras DMUs. A ideia do *benchmarking* é comparar DMUs que transformam o mesmo tipo de recursos (*inputs*) no mesmo tipo de produtos e serviços (*outputs*) (Bogetoft & Otto, 2012).

A avaliação de desempenho e o *benchmarking* tornaram-se importantes ferramentas de melhoria contínua para as empresas que operam num mundo marcado pela alta-tecnologia dos computadores e das telecomunicações, onde a competição é intensa e cresce dia após dia. As atividades de *benchmarking* forçam as empresas a sobreviverem e a prosperarem num ambiente global de competição (Cook, Seiford, & Zhu, 2004).

As ferramentas modernas de *benchmarking* recorrem a métodos de análise de fronteiras. Um aspeto prático associado a este método relaciona-se com o facto de as empresas poderem aprender com as melhores ao invés de imitarem outras empresas cuja eficiência não corresponde ao desempenho ótimo. Os métodos DEA e SFA são os mais reconhecidos nesta área (Bogetoft & Otto, 2012). Comparando os dois métodos, o método DEA é considerado uma ferramenta eficaz de *benchmarking*, uma vez que pode considerar múltiplas medidas de desempenho de forma integrada, adequando-se melhor à realidade das empresas (Cook *et al.*, 2004).

Em suma, o método DEA, como ferramenta de *benchmarking*, tem como principais funções (Avkiran, 2006):

- i. Identificar as DMUs com melhor desempenho; e
- ii. Definir metas de potenciais melhorias para as DMUs ineficientes.

Para cada caso, o método DEA fornece uma visão da natureza das ineficiências de cada DMU e determina para cada uma os seus respetivos *benchmarks*. Através dos resultados obtidos, os gestores podem traçar e implementar medidas que melhorem o desempenho das DMUs cujo valor de ineficiência é inferior ao de outras semelhantes.

### 3.3.5. Modelos

Charnes *et al.* (1978) propuseram o modelo CCR (cujo nome deriva das iniciais dos autores), onde são assumidos rendimentos constantes de escala (*constant return scale* (CRS)) para a medição da eficiência das DMUs. Neste modelo assume-se que uma variação ao nível dos *inputs* implica uma variação proporcional nos *outputs* (Rebelo *et al.*, 2013).

Banker, Charnes, e Cooper (1984) desenvolveram o modelo BCC, onde foram introduzidos rendimentos variáveis de escala (*variable return to scale* (VRS)). Por outras palavras, os autores desenvolveram um modelo que não relaciona o aumento dos *outputs* com os *inputs*.

Como até recentemente não foi desenvolvida nenhuma teoria que indicasse se a função de produção dos portos era constante ou variável em retornos de escala, a maioria dos investigadores aplica os dois modelos CCR e BCC (Panayides *et al.*, 2009). Modelos como o modelo Aditivo (Tongzon, 2001), o modelo DEA-Super Eficiência e Eficiência Cruzada (Barros & Managi, 2008), o modelo Malmquist (Barros, 2003, 2012), entre outros, têm sido mais uma exceção do que a regra. Assim, em seguida, é descrito, de um modo geral, o funcionamento dos modelos CCR e BCC.

Os modelos CCR e BCC são considerados modelos radiais já que, embora também admitam outro tipo de alterações, se baseiam em alterações proporcionais nos *inputs* e *outputs*. Os modelos podem ainda ser divididos de acordo com a sua orientação. Segundo Ji e Lee (2010), os modelos podem seguir uma orientação para o *input*, onde se procura minimizar os *inputs* satisfazendo os níveis dos *outputs* envolvidos, ou uma orientação para o *output*, onde se procura maximizar os *outputs* sem que seja necessário aumentar os valores dos *inputs*. A escolha da orientação do

modelo deve ter em conta o objetivo que as DMUs em análise pretendem atingir e a estratégia que lhes está associada.

Em seguida, apresentam-se os modelos CCR e BCC com orientação para o *input* e para o *output*.

### 3.3.5.1. Modelo CCR

O primeiro modelo DEA foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) e foi construído com base no trabalho desenvolvido por Farrell (1957). O modelo é também conhecido por CRS, uma vez que considera que as variações dos rendimentos de escala são constantes, isto é, o aumento do nível do *output* relaciona-se proporcionalmente com o aumento do nível do *input*.

Considere-se que se pretende avaliar a eficiência de  $n$  DMUs, cada DMU consome diferentes quantidades de  $m$  *inputs* e produz  $s$  *outputs* diferentes. Mais especificamente, a DMU <sub>$j$</sub>  consome a quantidade  $x_{ij}$  do *input*  $i$  e produz a quantidade  $y_{rj}$  do *output*  $r$ . Cada DMU tem pelo menos um valor positivo de *input* e um valor positivo de *output*, ( $x_{ij} \geq 0$  e  $y_{rj} \geq 0$ ) (Cooper *et al.*, 2011). O modelo apresentado em seguida segue uma orientação para o *input*.

Para cada DMU pretende-se obter uma medida da eficiência obtida através do rácio entre as somas ponderadas dos *outputs* e a soma ponderada dos *inputs* (Coelli *et al.*, 2005). A eficiência da DMU a avaliar, a DMU<sub>0</sub>, pode ser expressa pela equação (3.4) (Cooper *et al.*, 2011).

$$\max h_o(u, v) = \frac{\sum_r u_r y_{ro}}{\sum_i v_i x_{io}} \quad (3.4)$$

Sujeito a,

$$\frac{\sum_r u_r y_{rj}}{\sum_i v_i x_{ij}} \leq 1 \text{ para } j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, i$$

onde  $u_r$  e  $v_i$  representam, respetivamente, o peso atribuído ao *output*  $r$  e ao *input*  $i$  de cada DMU.

A técnica da programação linear é utilizada com o intuito de determinar o conjunto de coeficientes  $u_1, u_2, \dots, u_r$  e  $v_1, v_2, \dots, v$  que maximiza o rácio entre os *outputs* e os *inputs* de cada DMU em análise (Sherman & Zhu, 2006).

### 3.3.5.1.1. Modelo primal

O problema da formulação particular do rácio (programação fracionada) expressa pela equação (3.4) é que produz um número infinito de soluções (Coelli *et al.*, 2005). Charnes e Cooper (1962) desenvolveram uma transformação da formulação matemática para solucionar o problema representada pela equação (3.5) (Cooper *et al.*, 2011).

$$\max z = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} \quad (3.5)$$

Sujeito a,

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0 \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{io} &= 1 \\ \mu_r, v_i &\geq 0 \quad \forall r \text{ e } i. \end{aligned}$$

Esta fórmula do modelo CCR é conhecida por *multiplier model* ou modelo primal. O modelo é aplicado uma vez para cada uma das  $n$  DMU em análise, e para cada um são obtidos os pesos ou multiplicadores  $\mu_r$  e  $v_i$  ótimos e a eficiência relativa  $z^*$ , que terá um valor entre 0 e 1. De notar que os pesos ótimos obtidos são geralmente diferentes de DMU para DMU, já que serão os mais favoráveis para essa DMU e que lhe permitirão obter o maior valor de  $z^*$  possível (Cooper *et al.*, 2011). Os pesos obtidos para cada DMU podem ser interpretados como uma contribuição relativa dessa variável para a eficiência. Assim,  $\mu_r$  equivale ao aumento da eficiência que a produção de mais uma unidade de *output* originará, mantendo-se o *input*. Para  $v_i$ , quanto maior for o valor da sua contribuição, maior será o aumento da eficiência que a redução de uma unidade de *input* ocasionará (Sherman & Zhu, 2006). No entanto, os pesos ótimos nem sempre são únicos, podendo haver algumas diferenças nos valores de soluções ótimas. É recomendável que não se retirem conclusões diretamente dos pesos, devido à multiplicidade de pesos ótimos que pode existir (Sherman & Zhu, 2006).

Uma das características do método DEA é o facto de os pesos relativos dos *inputs* e dos *outputs* serem determinados a partir do próprio modelo e não de uma determinação *à priori* (Zhu, 2014). É de notar que os pesos atribuídos pelo método DEA podem não corresponder às contribuições reais dos *inputs* e dos *outputs* das DMUs. Uma DMU só é identificada como ineficiente depois de serem consideradas todas as combinações possíveis de pesos com vista a obter o maior valor de  $z^*$ , ou seja, a melhor eficiência possível. Isto garante que, quaisquer que sejam as ponderações

determinadas pelo modelo, estas são as que permitem a obtenção da maior eficiência da DMU avaliada. Desta forma, o método DEA nunca identifica uma DMU eficiente como ineficiente. Por outro lado, as DMUs classificadas como ineficientes são DMUs efetivamente ineficientes (Sharma & Yu, 2009).

### 3.3.5.1.2. Modelo dual

O modelo primal é raramente utilizado, recorrendo-se geralmente à sua forma dual, designada por *envelopment model* ou modelo dual, cuja formulação é expressa pela equação (3.6) (Cooper *et al.*, 2011).

$$\theta^* = \min \theta \quad (3.6)$$

Sujeito a,

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{r0}$$

$$\lambda_j \geq 0$$

O modelo dual pode ainda ser reformulado, introduzindo no modelo as variáveis folga  $s_i^-$  e  $s_r^+$  e convertem-se as inequações em equações equivalentes onde  $s_i^-$  e  $s_r^+$  representam as variáveis de folga dos *inputs* e dos *outputs*, respetivamente. Após todas as reduções proporcionais terem sido feitas, caso seja não nula, a folga  $s_i^-$  representa a quantidade de *input* i que é necessário reduzir para que a DMU se torne eficiente. A folga  $s_r^+$  representa a quantidade de *output* r que é necessário aumentar para que a DMU se torne eficiente (equação (3.7)) (Cooper *et al.*, 2011).

$$\min \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (3.7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta^* x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{r0} \quad j = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall_{i,j,r}$$

O modelo descrito pela equação (3.7) é executado em duas fases consecutivas. Na primeira fase, é resolvido o modelo descrito pela equação (3.6), onde é feita a minimização de  $\theta$ . Pelas

propriedades da dualidade, tem-se que  $z^* = \theta^*$  pelo que  $\theta^*$  define a eficiência da DMU que está a ser analisada. Na segunda fase, recorrendo à equação (3.7), fixa-se  $\theta = \theta^*$  e maximizam-se as folgas considerando o valor mínimo de  $\theta$  representado por  $\theta^*$  definido na fase anterior. O objetivo é encontrar uma solução que maximize a soma dos excessos nos *inputs* e dos défices nos *outputs* mantendo  $\theta = \theta^*$  (Cooper *et al.*, 2011).

Importa ainda definir o conceito da variável  $\lambda_j$ . Cada  $DMU_o$  é avaliada comparativamente com uma DMU virtual que é determinada pela combinação linear das DMUs localizadas na fronteira, ou seja, das DMUs eficientes. A DMU virtual corresponde à projeção da  $DMU_o$  na fronteira da eficiência. Por sua vez, a variável  $\lambda_j$  corresponde ao valor da ponderação da  $DMU_j$  na projeção da DMU virtual (Sherman & Zhu, 2006).

De acordo com Cooper *et al.* (2011) é importante basear-nos no conceito de “eficiência relativa” para entender a classificação de uma DMU. Assim, os autores consideram que:

- i. Se  $\theta^* < 1$ , então a  $DMU_o$  é ineficiente;
- ii. Se  $\theta^* = 1$  e  $s_i^{-*} \neq 0$  e/ou  $s_r^{+*} \neq 0$ , então a  $DMU_o$  é ineficiente, mas situa-se na fronteira de eficiência; e
- iii. Se  $\theta^* = 1$ , e  $s_i^{-*} = s_r^{+*} = 0$ , a  $DMU_o$  é eficiente.

Quando  $\theta < 1$  as DMUs são identificadas como ineficientes. Estas DMUs são estritamente ineficientes quando comparadas com as restantes. O valor de  $\theta$  inferior a 1 associado a uma DMU indica que utiliza excessivamente todos os *inputs*. Para se tornarem eficientes, as DMUs podem reduzir proporcionalmente todos os *inputs*. As DMUs classificadas de acordo com ii são ineficientes porque apresentam pelo menos uma folga não nula apesar de se encontrarem na fronteira de eficiência, uma vez que  $\theta = 1$ . Consequentemente, estas DMUs possuem margem para melhorar o seu desempenho. Nesta situação, a DMU poderá tornar-se mais eficiente se realizar alterações não proporcionais aos seus *inputs* e *output*, ou seja, terá de alterar o seu *mix* de *inputs* e/ou de *outputs* para se tornar eficiente (Cooper *et al.*, 2011). Na situação iii, as DMUs são consideradas eficientes, isto é, na amostra das DMUs estudada não existem DMUs que operem mais eficientemente. Estas DMUs, que apresentam eficiência unitária e folgas nulas, não necessitam de alterar os seus parâmetros de *inputs* e *outputs* para se tornarem mais eficientes.

De acordo com as aplicações do método DEA estudadas nesta dissertação utilizar-se-á o modelo dual. Assim, será também apresentada a reformulação do modelo caso seja aplicada uma orientação para o *output* (equação (3.8)) (Cooper *et al.*, 2011).



$$\max \varphi + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (3.8)$$

Sujeito a,

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- &= x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= \varphi y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0 \quad \forall i, j, r \end{aligned}$$

De notar que, na orientação para o *output*, a função objetivo é alterada de min para max. Na equação 3.8 pretende-se maximizar  $\varphi$  que aparece associado, nas restrições, à equação referente aos *outputs*. Na orientação para o *output*, as classificações das DMUs são definidas da seguinte forma:

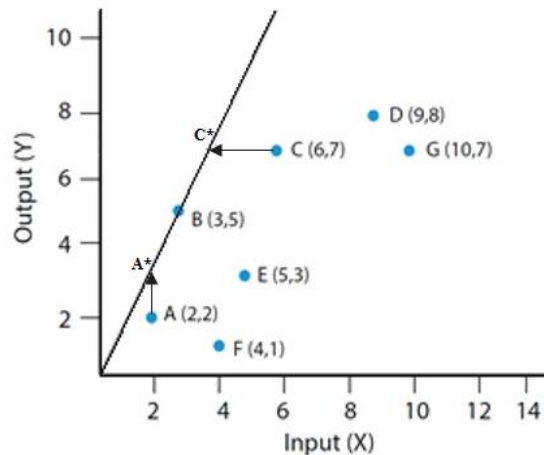
- i. Se  $\varphi^* < 1$ , então a DMU<sub>0</sub> é ineficiente;
- ii. Se  $\varphi^* = 1$  e  $s_i^{-*} \neq 0$  e/ou  $s_r^{+*} \neq 0$ , então a DMU<sub>0</sub> é ineficiente, mas situa-se na fronteira de eficiência; e
- iii. Se  $\varphi^* = 1$ , e  $s_i^{-*} = s_r^{+*} = 0$ , a DMU<sub>0</sub> é eficiente.

Quando  $\varphi < 1$  as DMU são identificadas como ineficientes. Estas DMUs são estritamente ineficientes quando comparadas com as restantes. O valor de  $\varphi$  inferior a 1 associado a uma DMU indica que não produz os *outputs* necessários, comparativamente com outras DMUs. Para se tornarem eficientes, as DMUs podem aumentar proporcionalmente todos os *outputs*. As DMUs classificadas de acordo com ii são ineficientes porque apresentam pelo menos uma folga não nula apesar de se encontrarem na fronteira de eficiência, uma vez que  $\varphi = 1$ . Consequentemente, estas DMUs possuem margem para melhorar o seu desempenho. Nesta situação, a DMU poderá tornar-se mais eficiente se realizar alterações não proporcionais aos seus *inputs* e *output*, ou seja, terá de alterar o seu *mix* de *inputs* e/ou de *outputs* para se tornar eficiente (Cooper *et al.*, 2011). Na situação iii, as DMUs são consideradas eficientes, isto é, na amostra das DMUs estudada não existem DMUs que operem mais eficientemente. Estas DMUs, que apresentam eficiência unitária e folgas nulas, não necessitam de alterar os seus parâmetros de *inputs* e *outputs* para se tornarem mais eficientes.

### 3.3.5.1.3. Exemplos ilustrativos

De modo a exemplificar o que foi referido, são apresentados dois exemplos. Na figura 3.2 é feita uma representação do modelo CCR de 7 DMUs em que existe um único *input* (X) e um único *output* (Y).

DMU	A	B	C	D	E	F	G
<i>Input</i>	2	3	6	9	5	4	10
<i>Output</i>	2	5	7	8	3	1	7



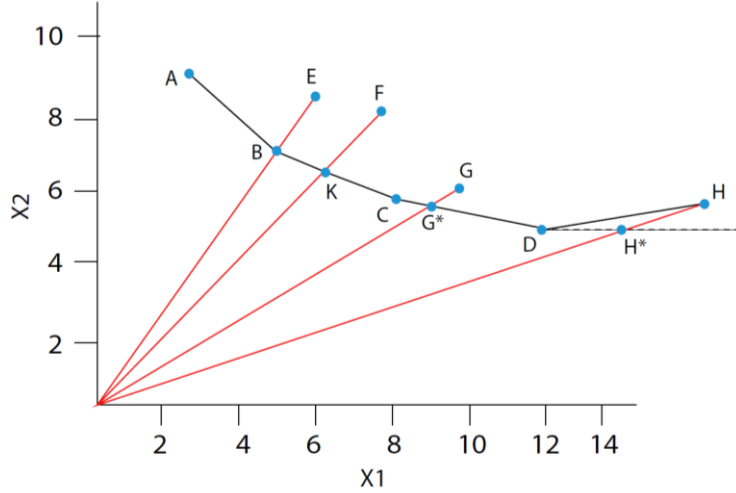
**Figura 3.2 – Fronteira de eficiência do modelo CCR com um *input* e um *output***  
Adaptado de Cook e Seiford (2009)

Na figura 3.2, a DMU B é a única eficiente. Se for considerada uma orientação para o *input* e para que as restantes DMUs melhorem o seu valor de eficiência, é necessário recorrer à projeção horizontal das mesmas para um ponto localizado na fronteira. Esta projeção não é mais do que a DMU virtual já referida. No caso da DMU C, esta projeção horizontal é representada pelo ponto C\*. De notar que, para a DMU C, mantem-se o nível de *output* e diminui-se o nível do *input*. Se for considerada uma orientação para o *output*, a projeção da DMU virtual será uma projeção vertical. No caso da DMU A, esta projeção vertical é representada pelo ponto A\* e, nesta situação, mantem-se o nível do *input* e aumenta-se o nível do *output*.

Na figura 3.3 encontram-se ilustradas 8 DMUs A, B, C, D, E, F, G e H, com os respetivos consumos dos *inputs* X1 e X2. De notar que as DMUs produzem a mesma quantidade de *output*.

O modelo adotado segue uma orientação para o *input*, pelo que a fronteira de eficiência é definida pelas DMUs A, B, K, C e D, uma vez que,  $\theta_A = \theta_B = \theta_K = \theta_C = \theta_D = 1$ , com folgas nulas. Para a DMU E, ( $\theta_E^* = 83,3\%$ ), a sua projeção na fronteira corresponde à DMU B, pelo que se pode afirmar que B é um *benchmark* para a DMU E. De acordo com Cooper *et al.* (2011), Coelli *et al.* (2005) e Odeck e Bråthen (2012), as projeções virtuais das DMUs ineficientes na fronteira são o

resultado da interseção entre a reta que passa pela origem e pela DMU ineficiente e a fronteira de eficiência. Assim, a projeção da DMU G corresponde ao ponto G\* que é definido pela combinação linear das DMUs A, B, C e D.



**Figura 3.3 – Fronteira de eficiência do modelo CCR com dois *inputs* mantendo o mesmo *output***  
Adaptado de Cook e Seiford (2009)

A DMU H é ineficiente, apesar de se localizar na fronteira ( $\theta = 1$ ), mas apresenta margem para melhorar o seu desempenho (os valores das folgas  $s_1^-$  e  $s_2^-$  são valores positivos). Para se tornar eficiente ( $\theta = 1$  e  $s_1^- = s_2^+ = 0$ ), a DMU H terá de consumir os valores de *inputs* associados ao ponto H\*. De notar que o ponto H\* corresponde à projeção do ponto H numa extensão da fronteira de eficiência formada pelas DMUs A, B, K, C, G e D.

### 3.3.5.2. Modelo BCC

O modelo BCC surgiu inicialmente em Banker, Charnes e Cooper (1984) e, contrariamente ao modelo CCR, considera rendimentos variáveis à escala, isto é, não existe uma relação proporcional entre o nível de *input* e o nível de *output*.

O modelo dual BCC com orientação para o *input* é definido pela equação (3.9) (Banker *et al.*, 2011).

$$\min \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (3.9)$$

Sujeito a,

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

3. Fundamentação teórica: a aplicação do método *data envelopment analysis* no setor portuário

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= y_{ro} \quad j = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0 \quad \forall i, j, r \end{aligned}$$

A diferença entre os modelos BCC e CCR é que no modelo BCC existe adicionalmente a restrição  $\sum \lambda_j = 1$ . Ao contrário do modelo CCR, as DMUs virtuais obtidas resultam de uma combinação convexa das DMUs eficientes e não de uma combinação linear. As DMUs são, desta forma, comparadas com DMUs de dimensão semelhante (entidades que utilizam *inputs* e produzem *outputs* de modo semelhante) em vez de serem comparadas com todas as DMUs da amostra, como ocorre no modelo CCR.

No modelo BCC as DMUs são classificadas da mesma forma que no modelo CCR, isto é, em função do valor de  $\theta$  e das folgas dos *inputs* e/ou *outputs*.

A forma dual do modelo BCC com orientação para o *output* é definida pela equação (3.10).

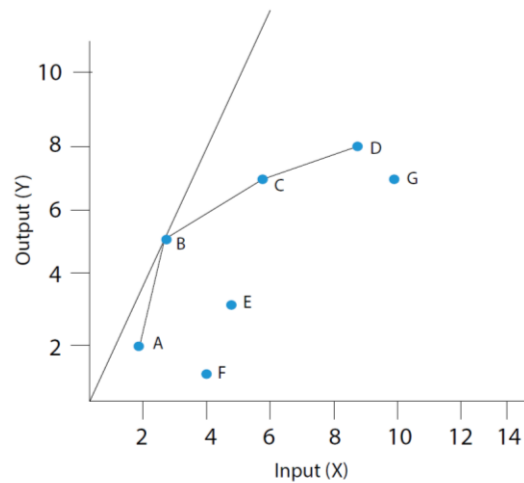
$$\max \varphi - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (3.10)$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- &= x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= \varphi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+ &\geq 0 \quad \forall i, j, r \end{aligned}$$

A figura 3.4 ilustra a situação representada na figura 3.3, mas com o acréscimo da fronteira de eficiência definida pelo modelo BCC. Na figura 3.4 apresentam-se as fronteiras que se obtêm a partir dos modelos CCR e BCC com o conjunto das 7 DMUs. Como foi referido anteriormente, segundo o modelo CCR, apenas a DMU B é eficiente. Comparando os dois modelos, conclui-se

que existe um maior número de DMUs eficientes no modelo BCC e se uma DMU é eficiente segundo o modelo CCR então é também eficiente no modelo BCC.



**Figura 3.4 - Fronteira de eficiência do modelo BCC com um *input* e um *output***  
Adaptado de Cook e Seiford (2009)

### 3.3.5.3. Algumas observações sobre os modelos CCR e BCC

Os modelos CCR e BCC analisam a eficiência de diversas DMUs com base na estimação de uma fronteira de eficiência definida pelas DMUs mais eficientes presentes na amostra. As DMUs não eficientes são calculadas com base na distância a que se localizam dessa fronteira ou da sua projeção sobre a própria fronteira que é o resultado de uma combinação linear de todas as DMUs eficientes (modelo CCR) ou de uma combinação convexa de DMUs que operam de forma semelhante (modelo BCC).

A forma dual é geralmente a escolhida para representar ambos os modelos. O modelo primal apenas nos fornece informação acerca do peso de cada variável em estudo, ao passo que através das folgas quantitativas de cada *input* e *output*, o modelo dual estabelece metas concretas para que cada DMU alcance a eficiência. Por outras palavras, a forma dual permite estabelecer *benchmarks* para cada DMU ineficiente (Cooper *et al.*, 2007).

Quando da escolha do tipo de orientação dos modelos é necessário ter em conta tanto a natureza dos serviços bem como os principais objetivos das DMUs em análise. Por um lado, a orientação para o *input* é focada em reduzir os recursos, mantendo o mesmo nível de *outputs* gerados, enquanto na orientação para o *output* o método DEA procura maximizar o valor dos *outputs* produzidos para a mesma quantidade de recursos utilizados.

O resultado obtido para a ET de cada DMU não é necessariamente igual nos dois modelos e a comparação dos valores pode fornecer informação adicional acerca da ineficiência de cada DMU. Por um lado, o modelo BCC fornece uma medida da eficiência sem entrar em consideração com a escala, também designada por eficiência técnica pura. A eficiência técnica pura reflete apenas a o desempenho da gestão na conversão de *inputs* em *outputs* (Kumar & Gulati, 2008). Já o modelo CCR fornece uma medida de eficiência técnica global que pode ser descomposta em duas componentes mutuamente exclusivas e não aditivas: a eficiência puramente técnica e a eficiência de escala (Kumar & Gulati, 2008). Este modelo identifica as DMUs ineficientes com base no rácio entre o *output* e o *input*, uma vez que existe uma relação linear entre os mesmos. Os valores de eficiência segundo o modelo BCC serão sempre iguais ou superiores aos calculados pelo CCR, uma vez que segundo o modelo CCR as DMUs têm de ter simultaneamente uma eficiência técnica pura e uma eficiência de escala. Assim, a eficiência de escala de uma DMU pode ser obtida pela equação (3.11).

$$Eficiência\ de\ escala = \frac{Eficiência_{CCR}}{Eficiência_{BCC}} \quad (3.11)$$

A eficiência de escala permite medir a variação do nível dos *outputs* quando se faz variar simultaneamente os níveis dos *inputs*. Se o aumento dos *inputs* resultar num aumento exatamente proporcional dos *outputs* então diz-se que fronteira de eficiência exibe um rendimento constante de escala (por exemplo, um aumento de 10% nos *inputs* irá originar um aumento de 10% nos *outputs*). Se um aumento proporcional dos *inputs* resultar num aumento menor dos *outputs* (por exemplo, um aumento de 10% nos *inputs* irá originar um aumento de 5% nos *outputs*) então o rendimento à escala é decrescente. Por último, se o aumento proporcional dos *inputs* resultar numa variação maior nos *outputs* (por exemplo, um aumento de 10% nos *inputs* resultar num aumento de 15% dos *outputs*) então o rendimento à escala é crescente.

### 3.4. Casos de aplicações do método *data envelopment analysis* no setor portuário

Nesta dissertação foi efetuada uma pesquisa de alguns artigos e estudos que aplicaram o método DEA ao sector portuário. De acordo com a pesquisa efetuada, existe uma grande diversidade de aplicações do método DEA ao setor em análise. Esta diversidade encontra-se relacionada com o tipo de modelo aplicado, a diferente escolha de variáveis de *input* e *output*, a variedade no tamanho da amostra analisada e a orientação do modelo adotada. Assim, efetuou-se um resumo

de alguns estudos descritos na bibliografia consultada com vista a analisar quais as diferenças existentes na aplicação do método DEA no setor portuário (tabela 3.1).

A variedade de modelos DEA aplicados reflete a falta de consenso existente em determinar o método que melhor define a realidade complexa do setor portuário (González & Trujillo, 2008). Verifica-se que a maior parte dos estudos (11 dos 15 analisados) recorrem aos modelos CCR e BCC. Para comparar os resultados, alguns autores optam ainda por aplicar outros modelos, tais como o modelo Aditivo, o modelo Super Eficiência, o modelo Eficiência Cruzada, o modelo *free disposal hull* (FDH) e o modelo ordem-m. Os modelos DEA Eficiência técnica e alocativa, DEA Malmquist, DEA Window DEA centralizada e DEA Luenberger são algumas alternativas à utilização dos modelos CCR e BCC.

#### **3.4.1. Casos de aplicação dos modelos CCR e/ou BCC**

Martinez-Budria *et al.* (1999) analisaram a eficiência de 26 portos espanhóis recorrendo ao modelo BCC. Os portos foram divididos em três grupos de acordo com a sua complexidade e tamanho. Como variáveis de *input* foram utilizados os custos de mão-de-obra, as taxas de amortização e outras despesas. A movimentação da carga foi a única variável de *output* considerada. Após a aplicação do modelo, os autores concluíram que os portos de maior dimensão apresentavam uma eficiência superior aos restantes.

Valentine e Gray (2001) aplicaram o modelo CCR a 21 portos de vários países do mundo, em 1998. Neste estudo foi investigada a relação entre a eficiência dos portos e o tipo de estrutura organizacional. Foram duas as variáveis de *output* selecionadas, o número de TEUs movimentados e a movimentação de carga em toneladas. Como variáveis de *input*, os autores optaram por utilizar o comprimento total do cais e o comprimento total do cais de contentores.

Barros e Athanassiou (2004) aplicaram os modelos CCR e BCC para estimar a eficiência relativa de dois portos Gregos (Thessaloniki e Piraeus) e quatro portos Portugueses (Leixões, Lisboa, Setúbal e Sines) entre 1998 e 2000. Foi considerada uma orientação para o *input*, uma vez que se tratavam de portos públicos, como defenderam os autores. Os *outputs* utilizados foram a movimentação de carga, a carga geral movimentada, a carga contentorizada movimentada e o número de navios operados. Como *inputs*, os autores optaram pelo número de trabalhadores e o valor dos ativos. Dois portos foram considerados ineficientes recorrendo ao modelo CCR: Setúbal e Thessaloniki. No entanto, segundo o modelo BCC, estes dois portos revelaram-se eficientes.

3. Fundamentação teórica: a aplicação do método *data envelopment analysis* no setor portuário

**Tabela 3.1 - Tabela resumo da revisão bibliográfica efetuada**

Ano	Autores	Modelo DEA	DMUs	Inputs	Outputs
1999	Martinez <i>et al.</i>	BCC	26 portos Espanhóis, 1993-1997	Custos da mão-de-obra (€), taxas de amortização (%), outras despesas (€)	Movimentação de carga (t)
2001	Tongozon	CCR Aditivo	4 terminais de contentores Australianos e outros 12 terminais de contentores internacionais, 1996	Pórticos de cais (nº), postos de atracação (€), rebocadores (nº), área do terminal (ha), tempo de atraso (h), trabalhadores (nº)	TEUs movimentados (nº), taxa de carga por navio (%)
2001	Valentine e Gray	CCR	21 portos de todo o mundo, 1998	Comprimento do cais (m), comprimento do cais de contentores (m)	TEUs movimentados (nº), movimentação de carga (t)
2003a	Barros	Eficiência técnica e alocativa	5 portos Portugueses, 1999-2000	Trabalhadores (nº), valor dos ativos (€)	Movimentação de carga (t), quota de mercado (%), carga geral (t), carga contentorizada (t), graneis líquidos (t), graneis sólidos (t), custo do capital (€)
2003b	Barros	Malmquist Tobit	10 portos portugueses, 1990-2000	Trabalhadores (nº), valor dos ativos (€)	Movimentação de carga (t), quota de mercado (%), carga geral (t), carga contentorizada (t), graneis líquidos (t), graneis sólidos (t), custo do capital (€)
2004	Barros e Athanassiou	CCR BCC	2 portos Gregos e 4 Portugueses, 1998-2000	Trabalhadores (nº), valor dos ativos (€)	Movimentação de carga (t), carga geral (t), carga contentorizada (t), navios operados (nº)
2004	Cullinane <i>et al.</i>	Window	25 dos 30 maiores terminais de contentores do mundo, 1992-1999	Comprimento do cais (m), área do terminal (ha), pórticos de cais (nº), pórticos de parque (nº), <i>stradle carriers</i> (nº)	TEUs movimentados (nº)
2006	Cullinane e Wang	CCR BCC	104 terminais de contentores Europeus, 2003	Comprimento do cais (m), área do terminal (ha) e custo dos equipamentos (€)	TEUs movimentados (nº)



### 3. Fundamentação teórica: a aplicação do método *data envelopment analysis* no setor portuário

Ano	Autores	Modelo DEA	DMUs	Variáveis de input	Variáveis de output
2006	Rios e Maçada	BCC	23 dos terminais de contentores MERCOSUR (15 Brasileiros, 6 Argentinos e 2 Uruguaios), 2002-2004	Pórticos de cais (nº), postos de atracação (nº), área do terminal (ha), trabalhadores (nº), equipamentos de parque (nº)	TEUs movimentados (nº), média de contentores movimentados por hora por navio
2006	Cullinane <i>et al.</i>	CCR BCC	30 terminais de contentores de diferentes países, 2001	Comprimento do cais (m), área do terminal (ha), pórticos de cais (nº), pórticos de parque (nº) e <i>straddle carriers</i> (nº)	TEUs movimentados (nº)
2008	Barros e Managi	CCR BCC Super eficiência Eficiência Cruzada	39 portos Japoneses, 2003-2005	Trabalhadores (nº), pórticos de cais (nº)	Navios operados(nº), graneis líquidos (t), graneis sólidos (t), TEUs movimentados (nº)
2010	Simões e Marques	BCC CCR FDH Ordem-m	41 portos Europeus, 2003-2005	Capex (€) e Opex (€)	Carga geral (t), graneis líquidos (t), graneis sólidos (t) e passageiros (nº)
2011	Lozano <i>et al.</i>	Centralizada	28 portos espanhóis, 2006	Área do terminal (ha), comprimento do cais (m), pórticos de cais (nº) e rebocadores (nº)	TEUs movimentados (nº), movimentação de carga (t), navios operados (nº)
2012	Barros	Luenberger Malmquist	23 portos africanos, 2004-2010	Área do terminal (ha) e pórticos de cais (nº)	Navios operados (nº), movimentação de carga (t), TEUs movimentados (nº)
2013	Bichou	BCC CCR	420 terminais de contentores, 2004-2010	Área do terminal (ha), calado máximo (m), comprimento do cais (m), TEUs movimentados por pórtico (nº), capacidade de armazenagem do parque (TEU/1000 m <sup>2</sup> ), camiões e veículos (nº), portarias (nº)	TEUs movimentados (nº)

Cullinane e Wang (2006) realizaram uma análise da eficiência de 104 terminais de contentores de 29 países através dos modelos CCR e BCC para o ano de 2003. Este estudo envolvia um número de DMUs excecionalmente superior. Apesar da dificuldade em recolher os dados relativos a esta numerosa amostra, os autores conseguiram reunir dados relevantes para o estudo em causa. A escolha das variáveis de *inputs* e de *outputs* foi similar à do trabalho desenvolvido por Cullinane *et al* (2004). No entanto, em vez de serem selecionados os números de pórtilhos, foi selecionado o fator equipamento representado pelo seu custo. Os resultados da eficiência foram mais baixos, como esperado. Verificou-se também que os terminais de maior dimensão obtiveram valores de eficiência superiores aos dos terminais de menor dimensão. Por outro lado, a análise revelou que terminais de diferentes regiões apresentavam diferentes valores de eficiência. Os terminais Ingleses e da Europa Ocidental obtiveram os valores mais elevados. Já os terminais da Escandinávia e da Europa do Leste apresentavam os valores mais baixos de eficiência.

Uma análise dos terminais da MERCOSUL foi desenvolvida por Rios e Maçada (2006). Os autores analisaram os terminais de 3 países do grupo entre os anos de 2002 e 2004, utilizando o modelo BCC. O número de pórtilhos de cais, o número de postos de atracação, a área do terminal, o número de trabalhadores e o número de equipamentos de parque foram as variáveis de *input* consideradas. Como variáveis de *output* o estudo envolveu o número de TEUs movimentados e a média de contentores movimentados por hora por navio. Da amostra de 23 terminais, os resultados demonstraram que 75% dos terminais analisados tinham uma eficiência de 100% em 2002. No entanto, a percentagem de terminais eficientes diminuiu para 65% no ano de 2004. Os autores concluíram que os portos identificados como eficientes poderiam ser considerados *benchmarks* para os restantes, logo os gestores dos portos, principalmente dos não eficientes, deveriam ter como referência as práticas adotadas nos portos eficientes para melhorarem o seu desempenho.

Cullinane *et al.* (2006) realizaram um estudo empírico com o objetivo de comparar os métodos DEA e a SFA na medição da eficiência técnica dos portos. Utilizaram uma amostra de 30 terminais de contentores com uma única variável de *output* (TEUs movimentados (número)) e cinco variáveis de *input* relacionadas com os fatores terra (comprimento de cais e área de terminal) e equipamentos (pórtilhos de cais, pórtilhos de parque e *straddle carriers*) e depararam-se com valores de eficiência semelhantes nos dois métodos. Concluíram também que portos de maior dimensão (arbitrariamente identificados como aqueles que movimentavam mais de um milhão de TEUs por ano) detinham valores de eficiência inferiores em comparação com portos de menor dimensão.

Com o objetivo de estudar o impacto das condições de operação e de mercado na eficiência dos terminais de contentores, Bichou (2013) aplicou os modelos BCC e CCR a 420 terminais de

contentores desde 2004 até 2010. A movimentação anual em número de TEUs foi a única variável de *output* escolhida pelo autor. As variáveis de *input* selecionadas encontram-se na tabela 3.1. Os autores concluíram que as condições de mercado afetam diretamente os valores de eficiência dos terminais, mesmo que estes operem em condições semelhantes. No entanto, as configurações de operação também têm um efeito direto na eficiência dos terminais. Como concluíram os autores, os terminais com sistemas automatizados tendem a apresentar valores de eficiência mais elevados. Por outro lado, as políticas de operação e os procedimentos de trabalho também influenciam a performance dos terminais. É de destacar a política de armazenamento do parque e o funcionamento da/s portaria/a no impacto direto na eficiência do terminal.

### **3.4.2. Casos de aplicação dos modelos CCR e/ou BCC e outros modelos comparativos**

Tongzon (2001) avaliou a eficiência de 4 terminais de contentores australianos e 12 terminais de contentores internacionais com uma elevada capacidade de transporte de contentores. Foram considerados dois *outputs*: o número de TEUs movimentados e a taxa de carga por navio, definida como o número de contentores movimentados por hora de trabalho por navio. Os *inputs* utilizados foram divididos em quatro categorias: capital, trabalho, terra e atraso (ver tabela 3.1). O autor utilizou modelos de retorno de escala constantes (modelo CCR) e variáveis (modelo Aditivo). Após a aplicação dos modelos, Tongzon (2001) verificou que com a configuração inicial de apenas 16 DMUs eram considerados numerosos portos eficientes, pelo que sugeriu uma amostra maior para reduzir esta possibilidade.

Barros e Managi (2008) estudaram a variação da eficiência de 39 portos japoneses, utilizando como variáveis de *input* o número de trabalhadores e o número de pórticos de cais e como variáveis de *output* o número de navios operados, a carga movimentada de graneis líquidos e sólidos em toneladas e o número de contentores movimentados em TEU. Os autores aplicaram numa primeira fase os modelos CCR e BCC. Segundo os autores, os modelos CCR e BCC apresentam frequentemente muitas DMUs na fronteira. Assim, foram aplicados também os modelos Super Eficiência e Eficiência Cruzada para, em primeiro lugar, validar os resultados dos primeiros modelos e para, em segundo lugar, restringir o número de DMUs pertencentes à fronteira. Os autores concluíram que os portos que adotavam estratégias, como a estratégia *hub* apresentavam em média valores de eficiência superior aos que não a utilizavam.

Simões e Marques (2010) investigaram o desempenho de 41 portos europeus através dos modelos CCR e BCC e, adicionalmente, os modelos *free disposal hull* (FDH) e ordem-m. Como variáveis de *input* utilizaram as despesas de capital (Capex) e as despesas operacionais e de manutenção

(Opex). A carga geral movimentada (em toneladas), os granéis líquidos e sólidos movimentados (em toneladas) e o número de passageiros constituíram as variáveis de *output* do estudo. Os autores optaram por adotar uma orientação para o *input*. Concluíram com esta análise, que os portos marítimos europeus apresentavam valores elevados de ineficiência.

### 3.4.3. Casos de aplicação de outros modelos DEA

O primeiro estudo sobre a avaliação de desempenho dos portos portugueses foi realizado por Barros (2003a). O autor analisou 5 portos com o objetivo de avaliar a eficácia das políticas incentivadas de regulamentação no aumento da eficiência produtiva dos portos. Os resultados indicaram que as políticas deveriam ser revistas com vista a produzir efeitos positivos na eficiência.

Num estudo seguinte, Barros (2003b) utilizou o modelo DEA Malmquist e o modelo Tobit para analisar a eficiência técnica e as mudanças tecnológicas de 10 portos portugueses entre 1990 e 2000. O autor concluiu que os portos públicos e os portos com algum controlo privado não aumentaram a sua produtividade total durante o período, devido à falta de avanço tecnológico.

Cullinane *et al.* (2004) utilizaram o método DEA-Window para analisar 25 dos 30 maiores portos de contentores do mundo (de acordo com o ranking de 2001), entre 1992 e 1999. Os autores afirmaram que a escolha das variáveis deve ser baseada nos objetivos dos portos. Por exemplo, se o objetivo de um porto for a maximização das receitas, então o trabalho deve ser considerado uma variável de *input*. Se, por outro lado, o objetivo for aumentar o nível de emprego, então o trabalho deve ser ponderado como variável de *output*. A única variável de *output* considerada neste estudo foi o número de TEUs movimentados. Como *inputs* os autores utilizaram o comprimento e área do terminal e o número de pórticos de cais, pórticos de parque e de *stradle carriers*.

Lozano, Villa e Canca (2011) aplicaram pela primeira vez no setor portuário uma abordagem centralizada do modelo DEA a 28 portos espanhóis. As variáveis de *input* e de *output* consideradas foram, respetivamente, a área do terminal, o comprimento de cais, o número de pórticos e cais e o número de rebocadores e o número de TEUs movimentados, a movimentação de carga (toneladas) e o número de navios operados. Os resultados apontaram para que apenas 10 dos 28 portos fossem tecnicamente eficientes.

Barros (2012) aplicou os modelos DEA Luenberger e DEA Malmquist durante o período de 2004 a 2010, para avaliar a eficiência de 23 portos africanos localizados na Nigéria, em Moçambique e Angola. Como *inputs* o autor considerou a área do terminal e o número de pórticos de cais. O número de navios operados, a movimentação de carga em toneladas e o número de TEUs movimentados foram utilizados como variáveis de *output*. Os resultados mostraram que a eficiência é maior nos portos da Nigéria do que em Moçambique e Angola.

### 3.5. Conclusões do capítulo

A avaliação de desempenho é uma ferramenta importante de gestão para as empresas se manterem competitivas e ativas no mercado em que se inserem.

A fronteira de eficiência é um conceito comum aos métodos de medição de eficiência atualmente utilizados. Esta fronteira é gerada pelas DMUs da amostra cujo desempenho é ótimo. A performance das DMUs ineficientes é calculada com base na distância a que estas se encontram da fronteira. Nesta dissertação os terminais são tecnicamente eficientes se operarem na fronteira de eficiência. No entanto é necessário ter em conta que o método DEA remete-nos para um conceito de eficiência relativa e como tal, as DMUs são eficientes apenas no contexto da amostra em que estão inseridas.

Nesta dissertação será abordado o conceito de ET. No setor marítimo, existem essencialmente dois métodos para analisar e quantificar a ET dos portos: o SFA e o DEA. Em suma, as vantagens do método SFA em relação ao DEA resumem-se na consideração do fator ruído e na possibilidade de os resultados poderem ser estaticamente testados. Por outro lado, as suas desvantagens residem na necessidade da definição *à priori* da fronteira de eficiência e na dificuldade existente em acomodar múltiplas variáveis de *input* e *output*. Dadas as vantagens e de acordo com a revisão literária efetuada, o método DEA foi considerado o mais adequado para efetuar o *benchmarking* dos terminais de contentores TERTIR no contexto europeu. Como afirmam Wanke *et al.* (2011) e Carvalho (2012), o método DEA é o mais utilizado no setor portuário, tornando-o um recurso vantajoso, dada a extensa literatura existente.

O método DEA é considerado uma ferramenta de *benchmarking*, uma vez que permite não só estabelecer *benchmarks* para cada DMU ineficiente, como também fornece metas e estabelece caminhos de melhoria para que as empresas possam economizar os seus consumos de *inputs* e melhorar as suas produções de *outputs*.

### 3. Fundamentação teórica: a aplicação do *método data envelopment analysis* no setor portuário

Por último, constatou-se que a maioria dos estudos, resumidos na revisão bibliográfica efetuada, aplicam os modelos CCR e BCC, uma vez que ainda não existem estudos conclusivos acerca da função de produção dos portos, isto é, se é variável ou constante em retornos de escala. Alguns autores optam ainda por utilizar outros modelos para validar os resultados obtidos pelos modelos CCR e BCC e outros recorrem a extensões do método DEA.

No capítulo seguinte será apresentado o modelo proposto e definidas as variáveis de *input* e de *output* a utilizar, bem como o modelo adotado e a dimensão da amostra a analisar.

## 4. Modelo proposto

Neste capítulo são definidas as variáveis de *input* e de *output* a utilizar, bem como o modelo DEA a aplicar e respetiva orientação. Para o efeito, é analisada a aplicação do método DEA no setor portuário, tendo como base a análise de artigos científicos que exploram a aplicação do método neste setor.

### 4.1. Aplicação do método *data envelopment analysis* no setor portuário

Existem essencialmente dois métodos para analisar a eficiência dos portos/terminais: o método SFA e o método DEA. No setor do transporte marítimo o método DEA é o mais utilizado. Em comparação com os métodos tradicionais, o método DEA possui a vantagem de poder considerar múltiplas variáveis de *input* e *output*, o que permite representar mais fielmente as características dos portos e por consequência a sua performance (Cullinane & Wang, 2006). Por outro lado, sendo um método não paramétrico, não exige a especificação de uma função que defina a relação entre as variáveis de *output* e de *input*, nem de nenhum pressuposto relativamente a uma distribuição estatística para a componente do erro, favorecendo-o, por isso, em relação aos métodos paramétricos.

Segundo Panayides *et al.* (2009), nos últimos cinco anos tem-se verificado um aumento na utilização do método DEA para analisar e quantificar a eficiência dos portos. Este aumento deve-se sobretudo aos benefícios metodológicos e computacionais deste método que se adequam à quantificação da eficiência dos portos que operam num ambiente complexo. De acordo com González e Trujillo (2008), os portos são organizações complexas que executam múltiplas atividades e estão dependentes de vários fatores, tais como, as APs, os concessionários, o tipo de mão-de-obra existente, a natureza das infraestruturas, o tipo de serviços prestados, o tipo de carga, a pilotagem, a rebocagem, entre outros. Estas considerações dificultam o estudo dos portos como DMUs homogéneas. Assim, é preferível centrar a análise dos portos numa atividade concreta, num tipo de carga específico ou num número limitado de portos (González & Trujillo, 2008). Nesta dissertação são estudados apenas terminais de contentores, pelo que não se compromete a fiabilidade dos resultados e a aplicabilidade do método.

A eficiência com que os terminais utilizam as suas infraestruturas (i.e, a área do terminal, comprimento do cais, calado, entre outras) é importante para alcançar uma elevada produtividade e obter baixos custos por contentor. Em suma, a rentabilidade de um terminal depende da

capacidade com que este combina os seus *inputs* para produzir um determinado *output* (Wiegmans, 2009). Será este o foco principal desta dissertação.

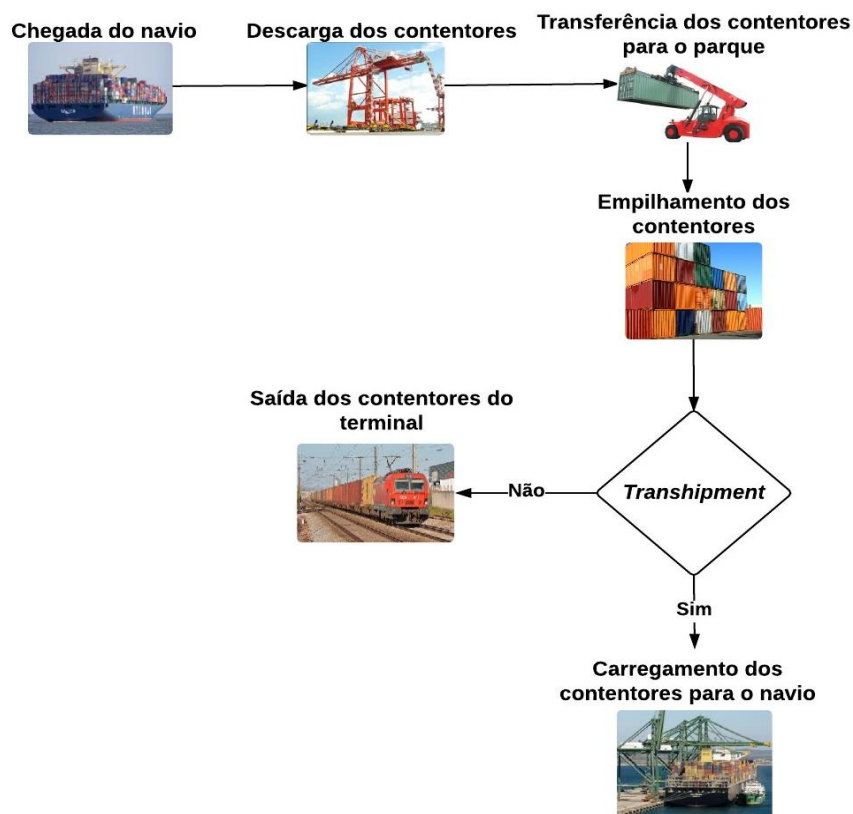
Antes de desenvolver o modelo, devem avaliar-se as variáveis de *input* e *output* e as DMUs a utilizar para que reflitam, de um modo fidedigno, o funcionamento do terminal, pelo que, seguidamente, é feita uma análise do funcionamento de um terminal de contentores para se compreender as atividades e os recursos nele envolvidos.

Quando um navio atraca num terminal, os pórticos de cais ou *quay cranes*, descarregam/transferem os contentores do navio para o cais. De seguida, os contentores são transferidos do cais para o parque do terminal, onde ficam empilhados. Os contentores são recolhidos para a saída do terminal, por camião ou comboio, ou, no caso de ocorrência de *transshipment*, os contentores têm como destino um outro navio, não saindo, neste caso, do parque do terminal. A transferência dos contentores do cais para o parque é executada pelos equipamentos de parque que podem ser de três tipos: pórticos de parque, *reach stackers* ou *straddle carriers*. Os dois primeiros exigem também um veículo que transporte os contentores desde o cais até ao parque. No parque, os pórticos de parque e/ou os *reach stackers* são responsáveis por retirar os contentores dos veículos e arrumá-los em pilha que, na maior parte dos casos, se encontra limitada a 5 contentores. Os *straddle carriers* são multifuncionais pois conseguem transportar os contentores do cais até ao parque e também colocá-los na pilha respetiva, não exigindo, portanto, um veículo. No entanto, conseguem apenas empilhar até 2 contentores, pelo que a utilização deste tipo de equipamentos implica maiores áreas de estacionamento. A escolha do tipo de equipamento de parque a usar depende das características do terminal e está condicionada, essencialmente, pelas condições das infraestruturas de estacionamento. Para carregar os contentores para os navios, o processo corresponde ao inverso do descrito. Para melhor compreensão do processo descrito sugere-se a leitura da figura 4.1 na qual está representado o processo de descarga dos contentores do navio para o terminal.

Todo o processo é controlado por um sistema informático, que permite a intervenção com os armadores e os agentes para que, atempadamente, o operador portuário tenha conhecimento do número de contentores provenientes de cada navio e consiga, assim, planear o posicionamento de cada contentor no parque, refletindo todo este planeamento no sistema. A operação inversa também é controlada pelo sistema informático permitindo, deste modo, que quando um camião ou um comboio entra no parque para levantar um contentor identifique a localização em que este se encontra.



#### 4. Modelo proposto



**Figura 4.1 - Processo de descarga de contentores**

Com base no processo descrito, pode-se afirmar que a produtividade dos terminais de contentores depende essencialmente de três fatores (Cullinane & Wang, 2010):

- i. Mão-de-obra;
- ii. Infraestruturas; e
- iii. Equipamentos.

Em seguida serão apresentadas as possíveis variáveis de *input*, associadas a cada um dos fatores referidos, isto é, mão-de-obra, infraestruturas e equipamentos, e as possíveis variáveis de *output* a utilizar na aplicação do método DEA a terminais de contentores.

##### **4.1.1. Variáveis de *input* e de *output* a utilizar na avaliação de terminais de contentores**

Para efeitos desta dissertação foi pedido especificamente, por parte do grupo TERTIR, um enquadramento dos seus terminais no contexto portuário europeu, relativamente à sua ET. Por outro lado e como foi referido na secção 3.1 desta dissertação, a ET é a medida de avaliação mais frequentemente utilizada no setor portuário. Ao contrário das medidas da EA e EE, a ET não exige informações acerca dos preços/custos das variáveis que são geralmente complicadas de obter

nesta área (Odeck & Bråthen, 2012). Assim sendo, não serão utilizadas variáveis de natureza económica nesta dissertação. No entanto, esta subsecção pretende também criar diretrizes que auxiliem os leitores interessados em aplicar o método DEA a terminais de contentores e, desta forma, serão apresentadas variáveis tanto de natureza económica como de natureza técnica, associadas aos fatores mão-de-obra, infraestruturas e equipamentos.

Por último será efetuada uma comparação entre as variáveis possíveis de *input* e de *output* no âmbito do setor portuário com as identificadas na revisão bibliográfica efetuada na secção 3.4.

#### a) Variáveis de *input*

##### i. Mão-de-obra

Identificou-se, para o fator mão-de-obra, as seguintes variáveis de *input*: 1) trabalhadores (número), 2) tempo de trabalho (horas) e 3) salários (€). As variáveis referidas podem ser consultadas na tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Possíveis variáveis de *input* a utilizar na avaliação do fator mão-de-obra**

Variáveis de <i>input</i>	Unidades
Trabalhadores	Número
Tempo de trabalho	Horas
Salários	€

Apesar de relevantes no contexto portuário, é essencial ter alguma precaução quando se utiliza variáveis de *input* associadas ao fator mão-de-obra. É necessário ter em conta que a maioria dos terminais recorre ao *outsourcing* para obter trabalhadores em alturas de maior solicitação de trabalho, pelo que os dados divulgados não estão muitas vezes corretos (Liu, Liu, & Cheng, 2008).

Cullinane *et al.* (2002, 2004 e 2006) argumentam que existe uma relação fixa entre o número de pórtricos e o número de estivadores de um terminal de contentores e que, de um modo indireto, o fator equipamento já incorpora uma medida da variável de *input* mão-de-obra. De facto, em certos terminais e por imposição de negociação sindical está fixado o número de trabalhadores por cada pórtrico. Assim, dificilmente será possível efetuar uma redução a nível do número de trabalhadores.

Por outro lado, no desenvolvimento desta dissertação, houve dificuldade em obter dados relativos à mão-de-obra dos terminais de contentores estudados, pelo que este fator não foi considerado para a análise da eficiência dos terminais de contentores.

## ii. Infraestruturas

Para o fator infraestruturas selecionaram-se as seguintes variáveis de *input*: 1) área do terminal ( $m^2$ )<sup>1</sup>, 2) comprimento de cais(m), 3) calado (m), 4) postos de atracação (número), 5) CAPEX (€) e 6) OPEX (€). As variáveis referidas podem ser consultadas na tabela 4.2.

**Tabela 4.2 - Possíveis variáveis de *input* a utilizar na avaliação do fator infraestruturas**

Variáveis de <i>input</i>	Unidades
Área do terminal	$m^2$
Comprimento de cais	m
Calado	m
Postos de atracação	Número
CAPEX	€
OPEX	€

A eficiência do terminal está muito dependente da exploração da sua área e do seu comprimento de cais e são variáveis com uma elevada influência na produtividade do terminal. Por um lado, uma maior área de terminal permite o armazenamento de mais contentores. Por outro lado, um maior comprimento de cais permite a acostagem de um maior número de navios. São também variáveis que representam custos elevados e, como tal, devem ser eficientemente utilizadas. É importante referir aqui que estas duas variáveis representam cerca de 30% dos custos na média dos terminais TERTIR. Pelas razões apontadas, estas variáveis de *input* são consideradas as mais adequadas para analisar o fator infraestruturas (Sharma & Yu, 2009); (Cullinane & Wang, 2010). Por último, são, também, variáveis divulgadas pelos operadores portuários e estão geralmente disponíveis nos *websites* dos terminais, facilitando o seu acesso. De notar que a maioria dos autores considera a área do terminal como a área total, incluindo a área total de parque, de armazéns, de acessos, de portarias, de oficinas, de parque de espera e de edifícios administrativos

As variáveis número de postos de atracação e calado, apesar de relevantes para a eficiência de um terminal, não são tão utilizadas quanto as duas mencionadas. De acordo com Panayides *et al.* (2009) e Cullinane & Wang (2010) a maioria dos estudos não utiliza estas variáveis dada a dificuldade em encontrar dados.

#### 4. Modelo proposto

Caso se pretenda efetuar um estudo da EA dos terminais, as variáveis CAPEX e OPEX poderão ser selecionadas para representar o fator infraestruturas. A variável CAPEX representa o capital despendido na aquisição de ativos físicos, tais como infraestruturas e equipamentos, por forma a manter a produção de um serviço e manter em funcionamento o negócio de um determinado sistema. A variável OPEX representa o capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa. No entanto, é necessária alguma precaução quando se utilizam estas variáveis. Em alguns terminais pode fazer parte das responsabilidades dos operadores portuários tanto a construção como a manutenção das infraestruturas do terminal, ou seja, despesas a nível de CAPEX e OPEX. Noutros terminais, como o caso dos terminais TERTIR, é da responsabilidade dos operadores portuários apenas as despesas a nível de manutenção (OPEX) e cabe às APs construir as infraestruturas necessárias ao funcionamento do terminal. Assim, sugere-se um estudo prévio do modelo de concessão dos terminais caso sejam consideradas as variáveis de *input* CAPEX e OPEX.

##### iii. Equipamento

Para o fator equipamento selecionaram-se as variáveis: 1) equipamentos de cais (número), 2) equipamentos de parque (número), 3) tempo de funcionamento dos pórticos (horas), 4) movimentos por hora e por pórtilco (número), 5) CAPEX (€) e 6) OPEX (€) (tabela 4.3).

As variáveis de *input* mais utilizadas e adequadas para avaliar o fator equipamento são o número de equipamentos de cais e o número de equipamentos de parque (Panayides *et al.*, 2009). A variável número de equipamentos de cais é a mais usada de acordo com a revisão bibliográfica efetuada na secção 3.4. Em primeiro lugar, porque cada terminal utiliza diferentes equipamentos de parque, estando esta escolha condicionada pela respetiva área de parqueamento, contrariando assim o critério da homogeneidade das DMUs, critério que se pretende atingir quando da aplicação do método DEA. Em segundo lugar, porque os pórticos de cais são os equipamentos que obrigam a maiores investimentos financeiros. Um pórtilco de cais Pos-Panamax, por exemplo, custa em média cerca de 8 000 000€.

É necessário ter em conta que a utilização da variável número de pórticos de cais não distingue o tipo de equipamento (ex: Panamax, Post-Panamax, Super Post-Panamax, etc). Os pórticos são classificados de acordo com o tamanho dos navios que conseguem operar. Um pórtilco Panamax, por exemplo, consegue carregar e descarregar contentores de navios com dimensões que variam entre os 30 aos 40 m. Um pórtilco Post-Panamax pode operar navios cujas dimensões variam entre os 45 e os 55 m, conseguindo, desta forma, movimentar mais contentores que um pórtilco

Panamax. Utilizando a variável número de pórticos de cais assume-se que todos os terminais têm o mesmo tipo de equipamento e que, por essa razão, operam navios de dimensão semelhante.

**Tabela 4.3 - Possíveis variáveis de *input* a utilizar na avaliação do fator equipamentos**

<b>Variáveis de <i>input</i></b>	<b>Unidades</b>
Equipamentos de cais	
Pórticos de cais	Número
Equipamentos de parque	
Pórticos de parque	Número
<i>Reach stackers</i>	Número
<i>Straddle carriers</i>	Número
Tempo de funcionamento dos pórticos	Horas
Movimentos por hora e por pórtico	Número
CAPEX	€
OPEX	€

Um problema associado à utilização das variáveis tempo de funcionamento dos pórticos e movimentos por hora e por pórtico relaciona-se com o facto de não existir um padrão uniformizado para a medição destes indicadores. Para alguns terminais, por exemplo, o número de movimentos por hora/pórtico pode incluir as horas de refeição, enquanto outros deduzem estas horas no cálculo do indicador. A seleção destas variáveis poderá comprometer uma comparação justa entre os terminais de contentores e, como tal, não são normalmente utilizadas nos estudos aplicados aos terminais de contentores (Panayides *et al.*, 2009).

Também, para o fator equipamento, poderão ser utilizadas as variáveis CAPEX e OPEX. Similarmente ao que foi referido para o fator infraestruturas, sugere-se uma análise prévia dos modelos de concessão dos terminais de contentores, para que sejam aferidas as responsabilidades das entidades envolvidas no que diz respeito à compra e à manutenção dos equipamentos de que os terminais dispõem.

#### **b) Variáveis de *output***

Na aplicação do método DEA a terminais de contentores, podem ser utilizadas as seguintes variáveis de *output*: 1) TEUs movimentados (número), 2) carga movimentada (t), 3) contentores movimentados (número), 4) navios operados (número), 5) nível de satisfação dos clientes (número), 6) quota de mercado (%) e 7) EBITDA (%). A tabela 4.4 apresenta as variáveis de *output* referidas.

**Tabela 4.4 - Possíveis variáveis de *output* na aplicação do método DEA a terminais de contentores**

Variáveis de <i>output</i>	Unidades
TEUs movimentados	Número
Carga movimentada	t
Contentores movimentados	Número
Navios operados	Número
Nível de satisfação dos clientes	Número
Quota de mercado	%
EBITDA	%

Relativamente às variáveis de *output*, a variável TEUs movimentados é a mais importante e mais aceite para avaliar a eficiência dos terminais (Cullinane & Wang, 2010). Grande parte dos estudos consideram-na uma vez que estabelece uma forte relação entre a necessidade das infraestruturas dos terminais e os serviços que estes prestam (Cullinane & Wang, 2010). Representa, também, a base sobre a qual os terminais de contentores são comparados, especialmente no que se refere à avaliação da sua dimensão, da magnitude dos seus investimentos e dos níveis das suas atividades (Cullinane & Wang, 2010). Por último, a variável TEUs movimentados é disponibilizada e divulgada pelos próprios portos/terminais, facilitando o seu acesso.

Relativamente à carga, comparando as unidades TEU, toneladas e número, conclui-se que a que melhor reflete as necessidades operacionais dos terminais de contentores é a unidade TEU. De notar que os contentores podem chegar meio carregados ou mesmo vazios, sendo sempre necessário movimentá-los do navio para o cais e vice-versa. Este processo envolve recursos como o cais de contentores, os pórticos de cais, os pórticos de parque, a área do terminal, entre outros. Assim, a utilização da variável carga movimentada (t) pode não refletir os recursos efetivamente envolvidos e a aplicação do método, considerando esta variável, pode indicar um terminal eficiente como sendo ineficiente. Já a variável número de contentores movimentados não diferencia o tamanho dos contentores, pelo que não consegue estabelecer uma relação entre a carga movimentada e a área da terminal utilizada. Com a utilização da variável TEUs movimentados é possível avaliar a eficiência com que o terminal utiliza a área que tem ao seu dispor.

Como referido na secção 3.3.2., quando da aplicação do método DEA, deve utilizar-se o menor número de variáveis de *input* e de *output* possível, sendo necessário que estas reflitam a performance das DMUs em estudo. As variáveis de *output* selecionadas devem refletir o objetivo das DMUs. No caso dos terminais de contentores, o objetivo passa pelo aumento da movimentação de carga. Posto isto, pode-se aferir que a variável número de navios operados não tem uma relação direta com o principal objetivo dos terminais, uma vez que um maior número de

navios operados não implica necessariamente um maior aumento na carga movimentada pelo terminal. Assim sendo, a adição da variável número de navios operados ao conjunto das variáveis de *output* pode diminuir a qualidade dos resultados obtidos.

É discutível se a utilização da variável TEUs movimentados como única variável de *output* é suficiente para analisar a eficiência dos terminais como um todo, ignorando outras potenciais variáveis de *output* como a quota de mercado (%) e o nível de satisfação dos clientes. No entanto, a reduzida utilização destas variáveis é atribuída à dificuldade em quantificar e recolher informação fidedigna (Panayides *et al.*, 2009). Nesta dissertação não foi possível obter a informação necessária para utilizar estas variáveis.

A variável Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortizations ou lucro antes de juros, impostos, depreciações e amortizações (EBITDA) é um indicador percentual (em denominador utiliza-se o volume de negócios) que permite medir o resultado do negócio descontado o efeito financeiro. A utilização desta variável fornece uma boa análise comparativa entre empresas dentro de um determinado segmento de mercado, pois mede a produtividade e a eficiência apenas do negócio. Uma vez que o negócio dos portos recorre, em muitos casos, a elevados investimentos e, portanto, pesados encargos financeiros na fase inicial dos projetos, a utilização da variável EBITDA permite retirar da comparação estes custos e, como tal, considera-se, neste caso, mais indicada a variável EBITDA do que a variável resultado líquido. No entanto, verifica-se que esta variável não foi encontrada na revisão bibliográfica efetuada na secção 3.4, provavelmente devido à dificuldade existente em encontrar informação.

#### **4.2. Especificações do modelo proposto**

Nesta subsecção são apresentadas as variáveis de *input* e de *output* selecionadas, bem como os terminais de contentores estudados. Posteriormente, será definido o modelo DEA e a orientação adotada.

Quando da seleção das variáveis de *input* e *output* e das DMUs utilizadas nesta dissertação, procurou-se encontrar um balanço entre os seguintes parâmetros: capacidade de capturar a complexidade da produção portuária, disponibilização dos dados e restrições quantitativas geométricas impostas pelo método DEA. Assim, em primeiro lugar, tomou-se como base o conjunto de variáveis de *input* e de *output* possíveis no âmbito do setor portuário referidas na secção 4.1.1. Do conjunto, selecionaram-se as variáveis às quais foi possível obter informação. Para sustentar a sua seleção foi efetuada, ainda, uma comparação entre as variáveis selecionadas

e as identificadas nos artigos consultados e presentes na secção 3.4. Por último, foram definidas as DMUs a integrar na amostra e analisadas as restrições quantitativas geométricas impostas pelo método DEA.

##### **4.2.1. Variáveis de *input* e de *output***

Foi fornecido pelo grupo TERTIR um relatório realizado pela empresa Dynamar que reunia, para um conjunto de 73 terminais de contentores europeus, as seguintes características: 1) área de terminal (ha), 2) comprimento de cais (m), 3) postos de atracação (número), 4) calado (m), 5) pórtilhos de cais (número) e 6) TEUs movimentados (número) (Dynamar, 2015). De notar que todas as características fornecidas podem corresponder a variáveis de *input* ou de *output* quando analisados terminais de contentores (ver secção 4.1.1.). Os dados fornecidos são referentes ao ano 2013.

Das variáveis fornecidas, optou-se por excluir a variável número de postos de atracação do conjunto de variáveis de *input*. Como foi referido na secção 3.3.2., os modelos DEA devem utilizar o menor número de variáveis de *input* e de *output* possíveis, uma vez que um elevado número de variáveis, comparativamente com o número de DMUs estudados, pode diminuir o poder discriminatório do método DEA (Zhu, 2014). A variável número de postos de atracação, de um modo direto, já se encontra relacionada com a variável comprimento de cais, uma vez que o número de postos de atracação de um terminal depende do seu comprimento de cais. Por outro lado, acresce que no relatório fornecido a variável comprimento de cais era sempre fornecida para todos os terminais, ao passo que a variável número de postos de atracação nem sempre. Assim, foram seleccionadas 4 variáveis de *input* (área de terminal (ha), comprimento de cais (m), calado (m) e pórtilhos de cais (número)) e 1 variável de *output* (TEUs movimentados (número)).

Para completar, optou-se ainda por comparar as variáveis de *input* e de *output* seleccionadas com as identificadas na revisão bibliográfica efetuada na secção 3.4 desta dissertação. Pretende-se, deste modo, obter uma base sólida que sustente a escolha das variáveis de *input* e de *output* a usar no desenvolvimento do modelo DEA, objeto alvo desta dissertação.

Na tabela 4.5 apresenta-se a frequência absoluta das variáveis de *input* identificadas na revisão bibliográfica efetuada na secção 3.4. A negrito encontram-se as variáveis seleccionadas para esta dissertação. Importa lembrar que, a revisão bibliográfica efetuada, teve como base a consulta de 15 artigos científicos que aplicaram o método DEA ao setor portuário.



**Tabela 4.5 - Frequência das variáveis de *input* identificadas na revisão bibliográfica**

<b>Variáveis de <i>input</i></b>	<b>Frequência</b>
<b>Área do terminal (m<sup>2</sup>)</b>	<b>8</b>
<b>Pórticos de cais (número)</b>	<b>7</b>
<b>Comprimento do cais (m)</b>	<b>6</b>
Trabalhadores (número)	6
Valor dos ativos (€)	3
Pórticos de parque (número)	2
Postos de atracações (número)	2
<i>Straddle carriers</i> (número)	2
Rebocadores (número)	2
CAPEX (€)	1
OPEX (€)	1
Equipamentos de parque (número)	1
Tempo de atraso (horas)	1
Custo dos equipamentos (€)	1
<b>Calado (m)</b>	<b>1</b>
TEUs movimentados/pórticos (número)	1
Capacidade de armazenagem do parque (TEU)	1
Camiões e veículos (número)	1
Portarias (número)	1
Salários (€)	1
Taxas de amortização	1
Outras despesas (€)	1

Após a análise da tabela 4.5 constata-se que as variáveis de *input* selecionadas são também as variáveis mais utilizadas nos artigos consultados, com exceção da variável calado.

Seguidamente, na tabela 4.6., apresenta-se a frequência absoluta das variáveis de *output* identificadas na revisão bibliográfica, baseada em 15 artigos científicos. A negrito encontra-se a variável de *output* selecionada para o modelo a desenvolver nesta dissertação.

Verifica-se, através da análise da tabela 4.6, que a variável de *output* selecionada “TEUs movimentados” é também a variável mais utilizada de acordo com a revisão bibliográfica efetuada, quando as DMUs utilizadas se referem a terminais de contentores.

**Tabela 4.6 - Frequência das variáveis de *output* identificadas na revisão bibliográfica**

Variáveis de <i>output</i>	Frequência
<b>TEUs movimentados (número)</b>	<b>10</b>
Movimentação de carga (t)	7
Granéis líquidos (t)	4
Carga geral (t)	4
Granéis sólidos (t)	4
Navios operados (número)	4
Carga contentorizada (t)	3
Quota de mercado (%)	2
Custo do capital (€)	2
Taxa de carga por navio (%)	1
Contentores movimentados por hora por navio (número/hora.navio)	1
Passageiros (número)	1

Pelo exposto anteriormente, pode afirmar-se que as variáveis de *input* área de terminal, comprimento de cais e número de pórticos de cais e a variável de *output* TEUs movimentados são também as variáveis mais utilizadas nos artigos consultados que aplicaram o método DEA ao setor portuário, suportando, desta forma, a sua seleção. Será ainda efetuada uma análise de correlação conforme sugerido por Panayides *et al.* (2009) e Lin & Tseng (2007) com o intuito de incluir apenas no modelo variáveis de *input* com elevada correlação com a medida da eficiência, sendo, neste caso, representada pelo número de TEUs movimentados. Será aqui também questionada a utilização da variável de *input* calado que, como constatado, é a variável de *input* menos utilizada nos artigos científicos consultados.

Para completar a seleção das variáveis de *input* e de *output* optou-se, ainda, por efetuar a análise da correlação das variáveis, conforme indicado na secção 3.3.1. Para tal, é necessário definir as DMUs a incluir na amostra e recolher, para cada DMU, os valores referentes às variáveis de *input* e de *output* selecionadas. Seguidamente apresentam-se as DMUs selecionadas, bem como as características associadas a cada uma das variáveis de *input* e de *output*.

#### **4.2.2. Decision making units**

As DMUs, objeto de análise nesta dissertação, correspondem a terminais de contentores da TERTIR. Foi necessário selecionar outras DMUs com as quais seriam comparados os terminais TERTIR. Alguns critérios foram considerados quando da escolha das DMUs. De um modo geral, procurou-se selecionar terminais o mais homogêneos possíveis em termos de funcionamento, isto é, com regimes de governação e de mão-de-obra semelhantes. Pretende-se selecionar terminais

pertencentes à UE, com regimes semelhantes em termos de concessões do espaço público marítimo, isto é, onde os operadores marítimos são frequentemente privados e os terminais concessionados.

A seleção das DMUs também esteve condicionada pela informação disponibilizada no relatório fornecido pelo grupo TERTIR (Dynamar, 2015). Posto isto, os terminais a estudar pertencem aos seguintes países europeus:

- i. Alemanha;
- ii. Bélgica;
- iii. França;
- iv. Holanda; e
- v. Portugal.

No entanto, considerou-se que seria necessário incluir também os terminais de contentores de Espanha, uma vez que, dada a posição geográfica, estes são considerados concorrentes dos terminais TERTIR. Assim, as características dos terminais de Espanha foram obtidas através de um questionário realizado aos terminais.

Destes países, selecionaram-se 30 terminais de contentores. De acordo com os critérios referidos na secção 3.3.1, o número mínimo de DMUs da amostra deve ser pelo menos o dobro do produto entre o número total de variáveis de *input* e *output* ou pelo menos o triplo da soma entre o número de variáveis de *input* e *output*. Dado o número de variáveis de *input* e de *output* consideradas na definição do modelo (4+1), de acordo com o primeiro critério, deve selecionar-se, no mínimo, 8 DMUs. Pelo segundo critério, a amostra de DMUs deve incluir, no mínimo, 12 DMUs.

Na revisão bibliográfica efetuada na secção 3.4, o número de DMUs utilizado varia entre 5 e 420 DMUs (média de 53 DMUs). Se se excluir os estudos realizados por Bichou (2013) e Cullinane & Wang (2006), referentes a 420 e 104 DMUs respetivamente, o número médio de DMUs seria 23. Assim, foram selecionados 30 terminais de contentores dos países identificados na definição da amostra (5 terminais de contentores por cada país). Seguidamente são apresentadas as características de cada um dos terminais estudados, isto é, 1) área do terminal, 2) o comprimento de cais, 3) número de pórticos de cais, 4) calado e 5) TEUs movimentados, referentes às variáveis de *input* e *output* selecionadas (tabela 4.7).

#### 4. Modelo proposto

**Tabela 4.7 - Características das 30 DMUs selecionadas**

<b>País</b>	<b>Terminal</b>	<b>Área do terminal (ha)</b>	<b>Comprimento de cais (m)</b>	<b>Pórticos de cais (número)</b>	<b>Calado (m)</b>	<b>TEUs movimentados (número)</b>
<b>Alemanha</b>	HHLA Container Terminal Altenwerder (CTA)	100	1 400	15	16,7	2 080 000
	HHLA Container Terminal Tollerort (CTT)	60	1 240	12	15,2	1 140 000
	EUROGATE Container Terminal Bremerhaven (CTB)	105,1	1 240	13	15,5	852 000
	MSC Gate	61	1 220	14	15,5	1 671 300
	EUROGATE Container Terminal Wilhelmshaven (CTW)	75	1 000	8	16	2 280 000
<b>Bélgica</b>	Antwerp Gateway	95	2 000	9	16	1 371 000
	PSA Antwerp Europa Terminal	72	1 180	7	15,5	1 160 000
	PSA Antwerp Deurganck Terminal	102	1 780	9	15,5	1 440 000
	Independent Maritime Terminal	15,4	690	2	12	175 000
	Container Handling Zeebrugge (CHZ)	42,5	1 000	6	17	680 000
<b>Espanha</b>	Noatum Container Terminal Bilbao	22,2	747	9	21	563 201
	Terminales Marítimas de Vigo (TERMAVI)	18	769	4	17	208 555
	Terminal de contenedores de Barcelona (TCB)	84,4	747	13	16	712 111
	Noatum Container Terminal Valencia	114,05	1 780	19	16	2 013 450
	Noatum Container Terminal Malaga	9,78	533	5	16	296 350
<b>França</b>	Terminal de Flandres	49	1 460	6	16,5	291 300
	Terminal de France	95	1 050	10	14,5	937 000
	Terminal Port Oceane	34	700	4	14,5	374 900
	Nord Terminals – Quai de l’Atlantique	26	808	4	14,5	315 000
	Nord Terminals – Quai des Amériques	27,8	500	6	14,5	120 000

#### 4. Modelo proposto

<b>País</b>	<b>Terminal</b>	<b>Área do terminal (ha)</b>	<b>Comprimento de cais (m)</b>	<b>Pórticos de cais (número)</b>	<b>Calado (m)</b>	<b>TEUs movimentados (número)</b>
<b>Holanda</b>	APM Terminals Rotterdam 1 (APMTR1)	100	1 600	14	16	2 280 000
	SCA Logistics Terminal Rotterdam (SLT)	22	500	3	12,6	100 000
	Ect Delta Barge Feeder Terminal (DBFT)	7,5	840	3	10,5	208 000
	ECT City Terminal (ECT)	59,3	1 400	9	14,5	757 000
	Rotterdam Shortsea Terminals (RST)	46	1 800	11	11,65	675 000
<b>Portugal</b>	PSA Sines Terminal de Contentores XXI	24	830	7	16,2	931 000
	Terminal de Contentores de Leixões (TCL)	22	900	5	12	590 498
	Terminal de Contentores Alcântara Sul (TCA)	12	630	3	14,5	279 470
	Terminal de Contentores de Santa Apolónia (TCSA)	16,2	742	4	10,5	213 210
	Terminal marítimo do Sado	20,1	725	2	15	68 483

#### 4.2.3. Análise de correlação das variáveis de *input* e de *output*

Como foi referido na secção 3.3.1., Panayides *et al.* (2009) e Lin & Tseng (2007) sugerem também, antes da aplicação do método DEA, a realização de uma análise de correlação para que sejam incluídas apenas variáveis que apresentem uma elevada correlação com a medida da eficiência.

Dadas as variáveis de *input* e de *output* escolhidas e recorrendo aos dados apresentados na tabela 4.7, foi efetuada uma análise de *Pearson* a fim de analisar a correlação existente entre cada variável de *input* e a variável de *output* selecionada. Os coeficientes de correlação correspondentes apresentam-se em seguida na tabela 4.8.

**Tabela 4.8 - Coeficientes de correlação entre as variáveis de *input* e de *output* selecionadas**

<i>Output</i> \ <i>Input</i>	Área de terminal (ha)	Comprimento de cais (m)	Pórticos de cais (número)	Calado (m)
TEUs movimentados	0,77	0,72	0,83	0,27

Através da análise da tabela 4.8, verifica-se que as variáveis de *input* área de terminal, comprimento de cais e número de pórticos de cais apresentam um índice de correlação superior a 0,5 indicando, desta forma, a existência de uma forte relação entre as variáveis referidas, conforme sugerido por Lin & Tseng (2007).

Por outro lado, a variável calado apresenta uma correlação positiva de baixo valor com a variável de *output* TEUs movimentados (0,27), pelo que se pode aferir que, de acordo com a amostra em estudo, não existe uma elevada relação entre as variáveis em questão como era inicialmente previsto. Desta forma, foi eliminada a variável calado do conjunto de variáveis de *input* selecionadas.

Assim, o modelo DEA será desenvolvido com base em 3 variáveis de *input* (área do terminal, comprimento de cais e pórticos de cais) e 1 variável de *output* (TEUs movimentados) (tabela 4.9).

**Tabela 4.9 - Variáveis de *input* e de *output* selecionadas**

Variáveis de <i>input</i>	Variáveis de <i>output</i>
Área do terminal	TEUs movimentados
Comprimento do cais	
Pórticos de cais	

#### 4.2.4. Modelo *data envelopment analysis*

Os modelos CCR e BCC são os modelos mais utilizados quando analisado o setor portuário (Panayides *et al.*, 2009). Como até à data não existe consenso em relação à função de produção dos portos, isto é, se é constante ou variável em retornos de escala, a maioria dos autores opta por aplicar ambos os modelos e comparar os resultados (Panayides *et al.*, 2009).

Nesta dissertação optou-se por aplicar os modelos CCR e BCC e comparar os seus resultados. No entanto, será analisado mais pormenorizadamente o modelo CCR. Isto porque o modelo CCR, ao contrário do modelo BCC, assume rendimentos constantes à escala, isto é, o modelo assume a existência de uma relação de proporcionalidade entre os *inputs* e os *outputs* e, como tal, as DMUs são comparadas com todas as DMUs da amostra. O modelo CCR fornece, assim, uma medida de eficiência técnica global que pode ser decomposta em duas componentes: a eficiência puramente técnica e a eficiência de escala (Kumar & Gulati, 2008). Tomando como exemplo a variável número de pórticos de cais, o modelo CCR defende que, se um terminal com 1 pórtico movimentar 50 000 TEUs então um terminal com dois pórticos deverá movimentar 100 000 TEUs. Na prática, esta relação de proporcionalidade nem sempre se verifica, uma vez que a movimentação de carga depende também de outros fatores tais como o crescimento da economia do país, o mercado existente, as greves, entre outros. Por essa razão, alguns autores optam por utilizar o modelo BCC que assume rendimentos variáveis à escala e que não exige uma relação proporcional entre os *inputs* e os *outputs*. No entanto, do ponto de vista do operador portuário, sendo neste caso o grupo TERTIR, importa analisar a eficiência técnica global dos seus terminais, uma vez que cada terminal tem em vista a relação proporcional ótima entre as suas infraestruturas e equipamentos e a movimentação de carga que operam, pois só assim será possível garantir uma ocupação e uma rentabilidade eficiente. Por outro lado, foi pedido especificamente uma comparação entre os terminais do grupo TERTIR e outros terminais Europeus. Tendo em conta que no modelo BCC apenas são comparados terminais de dimensões semelhantes, tomou-se como base o modelo CCR onde cada DMU é comparada com todas as DMUs da amostra.

A orientação do modelo DEA deve ser escolhida com base na natureza dos *inputs* e dos *outputs* utilizados. Na orientação para o *input* o modelo DEA procura minimizar o consumo dos *inputs* dado o nível de produção de *output*. Por outro lado, a orientação para o *output* tem em vista o aumento do nível de um determinado *output* dado um nível fixo de *inputs*. Como a gestão dos terminais estudados se baseia num modelo *Landlord Port* as características a nível das infraestruturas, nomeadamente a área do terminal e o comprimento de cais, são determinadas no contrato de concessão firmado entre as concessionárias e as APs e, como tal, são variáveis que apresentam um grau de rigidez elevado e, portanto, dificilmente alteráveis. Nesse sentido, cabe

aos operadores portuários obter o máximo de *output* possível, isto é, uma maior movimentação de carga no terminal, tendo em conta o nível fixo de infraestruturas que lhe foram previamente atribuídos. Posto isto, optou-se por aplicar os modelos CCR e BCC com orientação para o *output*.

### 4.3. Conclusões do capítulo

Este capítulo teve como principal objetivo analisar o modo de aplicação do método DEA na avaliação da eficiência do setor portuário. Para o efeito, analisaram-se artigos científicos que exploraram a aplicação deste método neste setor. É de notar que, em primeiro lugar, os portos são unidades complexas, cujo funcionamento pode variar de acordo com os serviços que prestam e as atividades que desenvolvem. É, aliás, por este facto que as concessões são atribuídas por segmentos de carga, nomeadamente, graneis líquidos, graneis agroalimentares, carga geral, contentores, entre outros. Assim, para se aplicar o método DEA no setor portuário, González & Trujillo (2008) sugerem a segmentação do setor de acordo com uma atividade concreta ou um tipo de carga específico, ou então restringir a dimensão da amostra a um número limitado de portos. Como nesta dissertação serão analisados apenas terminais de contentores não se compromete a aplicabilidade do método.

Seguidamente, considerando o tipo de DMUs seleccionadas, isto é, terminais de contentores, averiguou-se potenciais parâmetros a serem utilizados na aplicação do método, nomeadamente no que diz respeito às variáveis de *input* e *output* a utilizar, ao tipo de modelo e à orientação que melhor se adaptam neste contexto.

Em relação às variáveis de *input* escolhidas, deve-se procurar seleccionar as que melhor representam os três fatores principais, nomeadamente i) mão-de-obra, ii) infraestruturas e iii) equipamentos. Em relação ao fator mão-de-obra é de salientar a dificuldade existente em encontrar dados fidedignos. Os terminais de contentores recorrem frequentemente ao *outsourcing*, pelo que os dados disponíveis podem não estar corretos. Por outro lado, dados relativos à mão-de-obra são raramente divulgados e disponibilizados pelos terminais, pelo que há dificuldade em os obter. Na secção 4.1.1. determinou-se que a área do terminal e o comprimento do cais são não só as variáveis mais relevantes como também as mais utilizadas para avaliar o fator infraestruturas. São duas variáveis que envolvem um elevado investimento financeiro e a sua exploração tem uma influência direta na eficiência do terminal. Optou-se, também, por utilizar como variável de *input* o calado. O calado determina os portos/terminais onde o navio pode operar, tendo portanto uma grande influência no número de TEUs que um terminal pode movimentar. No fator equipamentos, optou-se por seleccionar a variável número de pórticos de



cais. O facto de cada terminal utilizar diferentes tipos de equipamentos de parque dificulta a aplicação desta variável de *input*, pelo que nesta dissertação não foi contabilizada.

A variável de *output* seleccionada foi o número de TEUs movimentados. De acordo com Cullinane & Wang (2010) a variável TEUs movimentados estabelece uma forte relação entre a necessidade das infraestruturas dos terminais e os serviços que estes prestam. É também a base sobre a qual os terminais de contentores são comparados e é, para cada operador, o indicador que mais informação fornece acerca da performance dos terminais.

Relativamente às DMUs, seleccionaram-se 30 terminais de contentores de 6 países pertencentes ao espaço da UE, nomeadamente, Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Holanda e Portugal. De Portugal, foram incluídos na amostra os terminais de contentores TERTIR de Leixões, Santa Apolónia, Alcântara e Setúbal e o Terminal de Contentores de Sines.

Para validar a seleção das variáveis, efetuou-se uma análise de *Pearson* onde foram analisadas as correlações existentes entre cada variável de *input* e a variável de *output*. Analisados os índices de correlação, foram seleccionadas apenas as variáveis de *input* que apresentavam um índice de correlação superior a 0,5 com a variável de *output*. Assim, o modelo DEA será desenvolvido com base em 3 variáveis de *input* (área de terminal, comprimento de cais e número de pórticos de cais) e 1 variável de *output* (número de TEUs movimentados).

Por último, foi definido o modelo DEA a aplicar. De acordo com Panayides *et al.* (2009) os modelos CCR e BCC são os mais utilizados no setor portuário e a maioria dos autores opta por aplicar os dois modelos e comparar os seus resultados. Assim, optou-se por utilizar os dois modelos e comparar os resultados, sendo que a análise se centrará principalmente no modelo CCR. Dadas as variáveis de *input* e de *output* escolhidas, considerou-se a orientação para o *output* a mais adequada, uma vez que as variáveis de *input* associadas ao fator infraestruturas, nomeadamente, a área de terminal e o comprimento de cais, são dificilmente alteráveis e cabe ao operador obter o máximo nível de *output* dadas as infraestruturas que lhe são atribuídas.

No capítulo seguinte, será aplicado o método DEA nas condições definidas neste capítulo com o intuito de analisar e discutir os resultados obtidos.



## 5. Aplicação do método *data envelopment* *analysis* e análise de resultados

Com este capítulo pretende-se aplicar o método DEA ao conjunto de terminais selecionados e analisar os resultados obtidos. A interpretação dos resultados debruçar-se-á principalmente sobre os terminais da TERTIR, objeto de estudo desta dissertação.

### 5.1. Aplicação dos modelos CCR e BCC

As variáveis de *input* e de *output* de cada um dos 30 terminais de contentores apresentadas no capítulo 4, a área de terminal, o comprimento de cais, o número de pórticos de cais e o número de TEUs movimentados respetivamente, foram utilizadas na construção dos modelos CCR e BCC com orientação para o *output*. A aplicação dos modelos foi feita através do *software* gratuito MaxDEA que pode ser obtido em [www.maxdea.cn](http://www.maxdea.cn).

Em primeiro lugar serão analisados e comparados os valores *score* de eficiência obtidos para cada DMU segundo o modelo CCR, uma vez que este é o modelo que melhor representa o objetivo desta dissertação. Para este modelo serão analisadas as variáveis folga e os *benchmarks* a utilizar para cada terminal TERTIR. Em seguida, serão discutidos os valores *score* de eficiência obtidos de acordo com o modelo BCC mas de uma forma mais genérica. A tabela 5.1 apresenta os valores *score* de eficiência obtidos segundo os modelos CCR e BCC.

Comparando os resultados obtidos em cada modelo, observa-se, em primeiro lugar, que os valores *score* de eficiência no modelo CCR são sempre inferiores aos obtidos no modelo BCC. No modelo CCR assumem-se retornos de escala constantes, pelo que a eficiência obtida reflete não só a eficiência técnica, mas também a eficiência de escala (eficiência técnica total). Como o modelo assume rendimentos constantes à escala, as DMUs são comparadas com todo o universo de DMUs que integra a análise.

O modelo BCC reflete apenas a eficiência puramente técnica das DMUs, uma vez que são assumidos retornos de escala variáveis. Na prática, segundo o modelo BCC, as DMUs não têm de ser eficientes em escala e, portanto, uma qualquer DMU ( $DMU_0$ ) será comparada com as DMUs eficientes de dimensão semelhante. Assim, os valores *score* de eficiência obtidos pelo modelo BCC são sempre superiores aos obtidos pelo modelo CCR.

**Tabela 5.1 - Valores *score* de eficiência obtidos segundo os modelos CCR e BCC**

País	Terminal	Modelo CCR		Modelo BCC	
		<i>Score</i>	$ X_i - X $	<i>Score</i>	$ X_i - X $
Alemanha	HHLA Container Terminal Altenwerder (CTA)	1	0,38	1	0,38
	HHLA Container Terminal Tollerort (CTT)	0,7	0,08	0,71	0,09
	EUROGATE Container Terminal Bremerhaven (CTB)	0,46	0,16	0,48	0,14
	MSC Gate	1	0,38	1	0,38
	EUROGATE Container Terminal Wilhelmshaven (CTW)	0,06	0,53	0,07	0,55
Bélgica	Antwerp Gateway	0,92	0,30	0,93	0,31
	PSA Antwerp Europa Terminal	1	0,38	1	0,38
	PSA Antwerp Deurganck Terminal	0,97	0,35	0,97	0,35
	Independent Maritime Terminal	0,54	0,08	1	0,38
	Container Handling Zeebrugge (CHZ)	0,7	0,08	0,78	0,16
Espanha	Noatum Container Terminal Bilbao	0,67	0,05	0,75	0,13
	Terminales Marítimas de Vigo (TERMAVI)	0,37	0,25	0,45	0,17
	Terminal de contenedores de Barcelona (TCB)	0,64	0,02	0,94	0,32
	Noatum Container Terminal Valencia	0,78	0,16	0,88	0,26
	Noatum Container Terminal Malaga	0,78	0,16	1	0,38
França	Terminal de Flandres	0,30	0,32	0,32	0,30
	Terminal de France	0,62	0,00	0,68	0,06
	Terminal Port Oceane	0,57	0,05	0,87	0,25
	Nord Terminals – Quai de l’Atlantique	0,50	0,12	0,62	0,00
	Nord Terminals – Quai des Amériques	0,17	0,45	1	0,38
Holanda	APM Terminals Rotterdam 1 (APMTR1)	1	0,38	1	0,38
	SCA Logistics Terminal Rotterdam (SLT)	0,20	0,42	1	0,38
	Ect Delta Barge Feeder Terminal (DBFT)	0,71	0,09	1	0,38
	ECT City Terminal (ECT)	0,53	0,09	0,55	0,07
	Rotterdam Shortsea Terminals (RST)	0,44	0,18	0,49	0,13
Portugal	PSA Sines Terminal de Contentores XXI	1	0,38	1	0,38
	Terminal de Contentores de Leixões (TCL)	0,84	0,22	0,93	0,31
	Terminal de Contentores Alcântara Sul (TCA)	0,67	0,02	1	0,36
	Terminal de Contentores de Santa Apolónia (TCSA)	0,38	0,24	0,47	0,12
	Terminal marítimo do Sado	0,21	0,41	0,39	0,23
Média		0,62		0,77	
Desvio Padrão		0,27		0,26	

Consequentemente, se uma DMU é eficiente de acordo com o modelo CCR, então, também o é quando aplicado o modelo BCC (Cullinane & Wang, 2006). O capítulo 3 aborda os modelos CCR e BCC.

De acordo com os resultados obtidos, o modelo CCR identificou 5 DMUs eficientes em todo o conjunto com uma média dos valores *score* de eficiência de 0,62. Com a aplicação do modelo BCC foram identificadas 11 DMUs eficientes com uma média dos valores *score* de eficiência de 0,77.

Em seguida serão interpretados os resultados obtidos de acordo com o modelo CCR.

## **5.2. Interpretação dos resultados de acordo com o modelo CCR**

A interpretação dos resultados obtidos pelo método DEA, quando aplicado à amostra de 30 DMUs, será feita no sentido de avaliar a eficiência dos terminais TERTIR. Numa primeira fase é feita uma análise global que envolve todos os terminais selecionados da amostra, sendo numa fase seguinte, analisadas pormenorizadamente a eficiência dos terminais TERTIR, as variáveis folga e os *benchmarks* a utilizar.

### **5.2.1. Análise global**

Para a amostra selecionada, o modelo CCR identifica 5 DMUs eficientes com uma média dos valores *score* de eficiência de 0,62, nomeadamente os terminais CTA e MSC Gate (Alemanha), PSA Antwerp Europa Terminal (Bélgica), APMTR1 (Holanda) e o PSA Sines Terminal de Contentores XXI (Portugal). Estes terminais, para além de tecnicamente eficientes, estão também a operar a uma escala ótima de produção ( $score = 1$ ). Neste modelo, cada terminal é comparado com todos os terminais da amostra, pelo que os terminais eficientes são aqueles que apresentam maior rácio de produtividade.

Os resultados mostram que 60% dos terminais (18) apresentam um valor *score* com uma distância máxima do valor da média de um desvio padrão, o que indica a necessidade de analisar a situação dos restantes terminais (12) que podem representar um cenário distinto do anteriormente analisado. Dos 12 terminais, 7 distinguem-se por apresentarem os maiores valores de eficiência, nomeadamente, os terminais eficientes já referidos, o Antwerp Gateway (Bélgica) e o PSA Antwerp Deuganck Terminal (Bélgica). Estes terminais são terminais de grande dimensão, ou pelas infraestruturas e/ou elevado número de equipamentos ou pela elevada movimentação de

carga que operam. De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que existe uma relação positiva entre a eficiência e a dimensão dos terminais. Quanto maior é a dimensão de um terminal, maior é a sua eficiência. Na verdade, um terminal de média/grande dimensão oferece aos seus clientes, os armadores, uma maior diversidade de destinos e de origens, atraindo desta forma mais mercadorias, o que por sua vez atrai também mais armadores. A movimentação de mais mercadorias no terminal, por sua vez, permite uma utilização dos recursos/*inputs* mais eficiente. A título de exemplo, é de referir que, de entre os quatro terminais TERTIR (Leixões, Alcântara, Santa Apolónia e Setúbal), o que apresenta maior valor *score* de eficiência é também o de maior dimensão (TCL). De facto, este terminal apresenta valores elevados de eficiência, quer para o modelo CCR, quer para o modelo BCC.

Apesar desta relação, existem terminais de grande dimensão, em termos de infraestruturas e equipamentos, que apresentam eficiências muito inferiores à média, particularmente o terminal EUROGATE Container Terminal Wilhelmshaven (CTW) que apresenta um valor *score* de eficiência de 0,06, segundo o modelo CCR, e 0,07, de acordo com o modelo BCC. De facto, este terminal iniciou a sua atividade apenas em 2012, tendo movimentado no ano de 2013 apenas 76 300 TEUs. Com uma área de 75 ha, 1000 m de comprimento de cais e 8 pórticos de cais, a sua reduzida eficiência fica explicada pela reduzida movimentação de carga. Foi possível, a partir desta situação, retirar a primeira conclusão interessante desta dissertação. É frequente no setor portuário a ocorrência de investimentos elevados a nível das infraestruturas e equipamentos que são muitas vezes excessivos face ao mercado existente, pelo menos numa fase inicial. Assim, os operadores portuários ficam frequentemente sujeitos ao pagamento de taxas muito elevadas decorrentes da exploração do terminal, o que dificilmente rentabiliza a operação. Uma solução frequentemente apresentada pelos operadores portuários é a de se ir gradualmente concessionando as infraestruturas de acordo com a procura e com o mercado existente permitindo, assim, uma operação sustentável ao longo do tempo. Desta forma, e com custos de infraestruturas adequados, os concessionários poderiam praticar preços mais baixos e competitivos e atrair novas linhas de navegação. O grupo TERTIR e outras empresas concessionárias têm vindo a defender este modelo de concessão com as APs. Como exemplo, o grupo TERTIR firmou um contrato de concessão no seu terminal no Ferrol, na Galiza, com uma área de 7,5 ha, mas em 2017 existirá a opção de aumentar esta área em mais 15 ha. Por outro lado, caso o grupo TERTIR não opte pelo arrendamento desta área adicional, a AP terá então o direito de a concessionar a outro operador que aí queira desenvolver a sua atividade.

Constata-se, também, que os terminais do norte da Europa, nomeadamente Alemanha, Bélgica e Holanda, apresentam níveis de eficiência mais elevados quando comparados com outras regiões. Tal decorre, uma vez mais, da sua elevada dimensão que está, por sua vez, relacionada com a

localização geográfica destes terminais, proximidade de grandes centros populacionais tanto de consumo como de produção. O facto de ser sempre necessário e obrigatório, desde o arranque do terminal, um mínimo de infraestruturas e equipamentos, isto é, por exemplo, a existência de pelo menos 350 m de cais, 7,5 ha de parque e 2 pórticos, a dimensão do mercado é uma variável determinante para a eficiência ser alcançada. Em suma, é sempre mais difícil obter elevadas eficiências num mercado mais reduzido. Os estudos realizados por Cullinane e Wang (2006) e Bichou (2013) também relacionam a eficiência dos terminais com a região em que operam e com as condições de mercado em que se inserem.

Os três terminais TERTIR das regiões de Lisboa e Setúbal são de reduzida dimensão e com reduzido mercado, quando comparados com a generalidade dos terminais Europeus, pelo que a empresa defende a existência no futuro de, no máximo, dois terminais nesta região de modo a que seja alcançada uma adequada eficiência. Atente-se que a carga movimentada nestes três terminais é equivalente à que é movimentada num só terminal em Leixões. Consequentemente e como o modelo evidencia, a eficiência do terminal de Leixões é muito superior a qualquer um dos terminais de Lisboa e Setúbal. A título de ensaio, criou-se um terminal fictício, o Terminal Futuro de Lisboa (TFL) que partiria da expansão de infraestruturas já existentes. Considerou-se que este terminal teria as mesmas dimensões, a nível de infraestruturas e equipamentos, que o TCL, uma vez que são dimensões que qualquer uma das infraestruturas existentes atualmente poderiam atingir. Considerou-se, também, que este terminal movimentaria a carga conjunta atualmente operada nas regiões de Lisboa e Setúbal, nos três terminais atualmente existentes (561 163 TEUs). A eficiência obtida, de acordo com o modelo CCR, para este terminal fictício foi de 0,79, muito superior à que é apresentada por qualquer um dos terminais individualmente existentes. Por outro lado, a existência de apenas um terminal permitiria uma redução muito substancial dos custos, o que iria permitir uma redução dos tarifários praticados aos clientes criando, assim, uma maior competitividade com os terminais vizinhos que disputam o mesmo *hinterland*, isto é, a área de mercado em terra da qual ou para a qual o terminal envia e recebe cargas.

A partir dos resultados obtidos pode, ainda, fazer-se uma breve reflexão relativamente à eventual construção do terminal de contentores do Barreiro. Como ficou provado, os terminais estudados e nomeadamente o TCA, o TCSA e o Terminal marítimo do Sado, cuja atividade se desenvolve nas áreas de Lisboa e Setúbal, ainda se encontram muito aquém da sua eficiência máxima. O mercado existente não é suficiente para um aproveitamento eficiente das infraestruturas e equipamentos atuais destes terminais. De facto, como se provou, a concentração da atividade desta região num só terminal, com as características necessárias, seria suficiente para movimentar a carga que os três terminais operam atualmente, com muito maior eficiência. Assim, a construção de mais um novo terminal de contentores na mesma área em que os três terminais hoje atuam

seria prejudicial para todos. A existir um só terminal, como acima ficou demonstrado constituir a solução de melhor eficiência face ao mercado existente, deveria resultar do aproveitamento de um dos existentes e não pela construção de mais infraestruturas.

Em seguida serão exploradas outras potencialidades do método DEA, nomeadamente as variáveis folga e os *benchmarks* a utilizar para cada um dos terminais TERTIR, com o objetivo de reforçar a posição assumida nesta dissertação relativamente às problemáticas já referidas.

### 5.2.2. Análise dos terminais TERTIR

Para se complementar a análise da eficiência dos terminais TERTIR, analisaram-se as variáveis folga e os valores-meta para cada terminal. Definiu-se, também, os *benchmarks* a utilizar para cada um dos terminais.

#### a) Análise das variáveis folga e valores-meta

Tendo-se utilizado o método DEA com orientação para o *output*, a projeção de DMUs na fronteira de eficiência é conseguida através da maximização do *output* para um determinado nível de *inputs*. Se não for possível tornar uma DMU eficiente apenas pela maximização do seu *output* o modelo fornece, também, alterações a nível dos *inputs* consumidos.

As variáveis folga representam situações de ineficiência nas quais o *mix* de *inputs* consumidos e/ou *outputs* produzidos pelas DMUs não é ótimo. Fornecendo os valores *score* de eficiência e das variáveis folgas de *input* e *output*, e segundo uma orientação para o *output*, o método DEA permite identificar e distinguir três situações:

- DMUs com valor *score* de eficiência de 1 e com todas as folgas nulas. São DMUs eficientes, cujo nível de produção de *output* deve manter-se dados os *inputs* consumidos;
- DMUs com valor *score* de eficiência de 1 e folgas não nulas. São DMUs com eficiência fraca, uma vez que para melhorar o seu desempenho a DMU deve realizar alterações não proporcionais ao nível dos seus *outputs*; e
- DMUs com valor *score* de eficiência inferior a 1. São DMUs ineficientes independentemente do valor das suas variáveis folga. No caso de todas as folgas serem nulas, a DMU deve aumentar proporcionalmente os seus *outputs*. Na presença de uma folga não nula, a DMU deve realizar um aumento não proporcional ao nível do *output* com folga.



Para as DMUs que possuam adicionalmente folgas não nulas de *input* a ineficiência destas DMUs não será apenas devido ao déficit de resultados produzidos, mas também devido à utilização de recursos em excesso. Nesta situação, as características a nível das infraestruturas (área de terminal e comprimento de cais) são determinadas no contrato de concessão firmado entre as concessionárias e as AP. Desta forma, não é plausível efetuar uma redução a nível de infraestruturas, caso se verificasse necessário para melhorar a eficiência. A variável de *input* número de pórticos de cais, pelo contrário, é uma variável controlável por parte dos operadores dos terminais e, caso seja necessário reduzir ou aumentar os níveis de consumo desta variável, poder-se-á proceder à venda ou à compra de um ou mais pórticos. Assim, nesta dissertação, serão consideradas apenas as folgas relativas à variável de *output* (TEUs movimentados) e à variável de *input* (pórticos de cais). Em seguida, serão analisadas as variáveis folga e os valores-meta para a variável de *output* considerada.

Através da análise da tabela 5.2 verifica-se que todos os terminais de contentores da TERTIR apresentam um valor *score* de eficiência inferior a 1, pelo que se pode aferir que todos os terminais são ineficientes. É de notar que, como se adotou uma orientação para o *output*, a ineficiência dos terminais está maioritariamente relacionada com o déficit de *outputs*.

A tabela 5.2 revela, para cada terminal, o número de TEUs que cada terminal deveria movimentar, dado o consumo de *inputs*, para alcançar um valor *score* de eficiência de 1. A título de exemplo, o TCL para alcançar um valor *score* de eficiência de 1, deveria movimentar 704 044 TEUs. A variável de *output* apresenta folga nula para todos os terminais, pelo que cada terminal deve fazer um aumento proporcional a nível da variável em questão.

**Tabela 5.2 - Variáveis folga e valores-meta da variável de *output* TEUs movimentados (número) dos terminais TERTIR**

Terminais	Situação atual (TEUs)	Variável folga (TEUs)	Variação proporcional (TEUs)	Valor-meta (TEUs)
TCL	590 498	0	113 546	704 044
TCA	279 470	0	133 310	412 780
TCSA	213 210	0	338 771	551 981
Terminal marítimo do Sado	68 483	0	262 517	331 000

É de notar que, no setor do transporte marítimo, a carga movimentada por cada terminal não é um fator totalmente controlável pelo operador, uma vez que depende não só dos serviços que o terminal presta mas fundamentalmente do crescimento da economia e da dimensão do mercado.

Neste contexto, para promover o aumento da carga movimentada nos terminais portuários, aumentando assim o *output*, os operadores portuários podem, através de uma ação comercial junto dos importadores e exportadores, apresentar soluções alternativas ao transporte rodoviário que visem a transferência de mercadorias deste referido meio de transporte para o transporte marítimo.

Para efeitos desta dissertação, os valores-meta provam que os terminais TERTIR, nomeadamente o TCA, o TCSA e o Terminal marítimo do Sado, se encontram subutilizados. A reduzida procura existente não permite que os terminais utilizem os seus recursos de forma eficiente. Adicionalmente, estes recursos representam ainda custos muito elevados para o grupo TERTIR (cerca de 30% dos seus custos totais). Não sendo totalmente aproveitados, o grupo TERTIR não consegue reduzir os tarifários praticados aos clientes como é muitas vezes solicitado pelas APs que tentam por esta via diminuir os custos dos exportadores e importadores.

O TCL é o terminal com maior nível de eficiência. De facto, o grupo TERTIR tem vindo a analisar com a AP de Leixões um aumento do terminal, designadamente no que à área de estacionamento diz respeito. Os resultados indicam que este aumento deverá ocorrer apenas quando a movimentação de carga do terminal atingir os 704 044 TEUs e se se prever um aumento na procura. A este propósito cabe referir que o estudo solicitado pelo governo de Portugal em 2014, em conjunto com várias instituições, para a identificação dos 30 principais projetos de infraestruturas a desenvolver em Portugal, identifica a expansão do TCL como o primeiro projeto prioritário a desenvolver.

Em seguida são analisadas as variáveis folga e os valores-meta associados à variável de *input* número de pórticos de cais (tabela 5.3).

**Tabela 5.3 - Variáveis folga e valores-meta para a variável de *input* pórticos de cais (número) dos terminais TERTIR**

Terminal	Situação atual (número)	Variável Folga (número)	Variação proporcional (número)	Valor-meta (número)
TCL	5	0	0	5
TCA	3	0	0	3
TCSA	4	0	0	4
Terminal marítimo do Sado	2	0	0	2

Pela análise da tabela 5.3, verifica-se que não existe excesso ou défice de consumo relativamente à variável de *input* pórticos de cais, pelo que o número de pórticos se deverá manter.

**b) Benchmarking**

No sentido de conseguir o desejado aumento nos *outputs* consumindo pelo menos o mesmo nível de *inputs*, o método DEA faz uma análise comparativa entre as DMUs eficientes e as DMUs ineficientes. O método DEA indica para cada terminal o conjunto de terminais eficientes que podem ser utilizados como *benchmarks* para que estas DMUs possam atingir as suas metas e melhorar a eficiência (tabela 5.4).

**Tabela 5.4 - Benchmarks dos terminais TERTIR**

Terminal	Eficiência	Benchmark	$\lambda_j$	Benchmark	$\lambda_j$
TCL	0,84	APMTR1	0,09	PSA Sines	0,53
TCA	0,68	APMTR1	0,03	PSA Sines	0,36
TCSA	0,38	APMTR1	0,05	PSA Sines	0,47
Terminal marítimo do Sado	0,21	APMTR1	0,01	PSA Antwerp Europa Terminal	0,26

Quanto maior for o valor de  $\lambda_j$  de uma DMU, mais esse *benchmark* deve ser tido em conta para a análise, uma vez que o valor de  $\lambda$  representa a contribuição dessa DMU na comparação efetuada. Verifica-se que o terminal APM Terminals Rotterdam (APMTR1) é um *benchmark* para todos os terminais da TERTIR, embora a sua contribuição  $\lambda_j$  seja reduzida. Este terminal foi a DMU mais utilizada como *benchmark* na amostra estudada, tendo sido um *benchmark* para 18 DMUs (60% da amostra de DMUs). O terminal de Sines foi um *benchmark* para 12 DMUs da amostra, incluindo os terminais TCL, TCA e TCSA, sendo o segundo terminal mais utilizado para o efeito. No entanto, é necessário ter em conta que o terminal de Sines é um terminal de *transshipment*. Por essa razão, o terminal movimenta uma maior quantidade de carga, pelo que será difícil um terminal seguir as suas práticas. Também de acordo com o estudo desenvolvido por Barros e Managi (2008), os portos que adotavam estratégias, como a estratégia *hub* ou *transshipment*, apresentavam em média valores de eficiência superior aos que não a utilizavam. No entanto, o terminal de Sines é o principal concorrente da TERTIR em Portugal, pelo que não deixa de ser interessante a sua integração na amostra estudada.

**5.3. Interpretação dos resultados de acordo com o modelo BCC**

Para efeitos desta dissertação e conforme explicado na secção 4.3.3., o modelo CCR é o mais adequado para responder às necessidades do grupo TERTIR. No entanto, foi aplicado também o modelo BCC para efeitos de comparação. É importante referir que o modelo BCC compara DMUs com dimensão semelhante, isto é, DMUs que utilizam *inputs* e produzem *outputs* de modo

semelhante. Considera, ainda, diferentes escalas de operação e determina para cada DMU as DMUs eficientes. A eficiência fornecida pelo modelo BCC designa-se por eficiência técnica pura.

Como era esperado, os valores *score* obtidos para cada DMU de acordo com o modelo BCC são mais elevados do que os obtidos segundo o modelo CCR (tabela 5.1). Todos os terminais TERTIR continuam a apresentar valores *score* de eficiência inferiores a 1, com exceção do TCA. Na verdade, o modelo BCC pode classificar DMUs como eficientes apenas por não haver outras DMUs suficientemente semelhante a essas para comparação. Assim, foi adicionado um terminal fictício com dimensões semelhantes às do TCA a nível de *inputs*, isto é, com uma área de terminal de 12 ha, 630 m de comprimento de cais e 3 pórticos de cais, mas com uma movimentação de carga de 350 000 TEUs. Após o teste, o valor *score* de eficiência do TCA reduziu de 1 para 0,79. Desta forma, pode concluir-se que o valor *score* de eficiência de 1 deriva do facto de não existir na amostra em análise DMUs semelhantes ao TCA com as quais possa ser comparado. Esta é uma limitação associada à aplicação do modelo BCC. Nesta situação, seria necessário recolher informação de terminais com dimensões semelhantes às do TCA, para se obterem resultados mais realistas. Relativamente aos restantes terminais, mesmo quando comparados com terminais de dimensões semelhantes, continuam ineficientes, corroborando os argumentos já defendidos quando da análise do modelo CCR.

#### **5.4. Discussão dos resultados**

Nos subcapítulos 5.2 e 5.3 foi aplicado o método DEA a um conjunto de 30 terminais de contentores em estudo. Pretende-se neste capítulo detalhar as conclusões obtidas e discutir a aplicação do método DEA no estudo efetuado, refletindo sobre algumas limitações que se possam estender a este caso em particular.

Relativamente às variáveis selecionadas procurou-se encontrar um ponto de equilíbrio entre os fatores disponibilidade dos dados, capacidade de as mesmas refletirem a complexidade da produção portuária e restrições geométricas impostas pelo método DEA. Por outro lado, pretende-se que este estudo auxilie o grupo TERTIR com as questões que tem vindo a debater com as APs. Assim sendo, tendo em conta o objetivo desta dissertação, as 3 variáveis de *input*, área do terminal, comprimento de cais e número de pórticos de cais e a variável de *output*, TEUs movimentados, selecionadas consideram-se adequadas. No entanto, as variáveis utilizadas apresentam algumas limitações que devem ser tidas em conta na avaliação dos resultados. A variável pórticos de cais não distingue o tipo de equipamento (ex: Panamax, Post-Panamax, Super Post-Panamax, etc). Nestas condições, assume-se que os terminais pertencentes à amostra se encontram nas mesmas condições e operam navios de dimensão semelhante. Por outro lado, a

seleção de uma única variável de *output* pode não ser suficientemente representativa da atividade dos terminais, uma vez que outras variáveis, como o número de navios estivados, a quota do mercado e o nível de satisfação dos clientes, podem também interferir diretamente na avaliação da eficiência dos terminais. Esta limitação foi incontornável, uma vez que não foi possível obter os dados relativos a estas variáveis. Por último, é de notar que o modelo aplicado não tem em conta as eventuais diferenças de condições de acesso dos navios na entrada nos portos, nomeadamente na barra, bacia de rotação e canal de acesso, fatores que podem condicionar a entrada de navios de maior dimensão no terminal e, por consequência, transportadores de um maior número de contentores.

A recolha das variáveis de *input* e *output* dizem respeito ao ano de 2013 pelo que a informação obtida é a mais próxima da atualidade. No entanto, poderia ter sido interessante a utilização de informação de anos anteriores a fim de captar a dinâmica e a evolução da indústria portuária. De facto, um terminal em início de atividade tem geralmente poucos clientes e não estão a funcionar em pleno, pelo que os resultados da sua eficiência podem ser muito reduzidos e influenciar, também, os resultados de outras DMUs da amostra. Contudo, dada a dificuldade de acesso a dados relativos a outros períodos cingiu-se a análise ao ano de 2013.

Quando se pretende selecionar as DMUs da amostra é necessário ter em conta o critério da homogeneidade, isto é, as DMUs a analisar devem ser similares no seu funcionamento e características, pois só assim será efetuada uma comparação correta e justa. Assim, nesta dissertação selecionaram-se terminais de contentores pertencentes à UE e com o mesmo modelo de governo (*Landlord Port*). No entanto, a atividade de alguns terminais pode estar relacionada com atividades de *transshipment* pelo que apresentam níveis de eficiência superior, como é o caso do terminal de Sines. Não obstante, a sua integração na análise é importante uma vez que em Portugal este terminal é o principal concorrente dos terminais da TERTIR.

Relativamente à amostra de DMUs selecionada, de acordo com Boussofiane (1991) um elevado número de variáveis comparativamente com o número de DMUs da amostra pode reduzir o poder discriminatório do método DEA. Nesta situação é provável que o método identifique um considerável número de DMUs eficientes. Com o aumento do número de variáveis, aumenta também a oportunidade de diferenciar as DMUs da amostra e, como resultado, uma DMU pode ser identificada como eficiente apenas por não existir outra com a qual possa ser comparada. Assim, Boussofiane (1991) sugere um método para identificar as perdas do poder discriminatório do método DEA associadas ao elevado número de variáveis incluídas no modelo. De acordo com o autor, o número de DMUs eficientes deve ser aproximadamente igual ao produto do número de variáveis de *input* pelo número de variáveis de *output*. Neste caso em particular foram

selecionadas 3 variáveis de *input*, 1 de *output* e 30 DMUs. De acordo com o critério referido por Boussofiane (1991), devem existir aproximadamente 3 DMUs eficientes (3x1) (10% da amostra selecionada). Nesta dissertação, o modelo CCR identificou 5 DMUs eficientes (16,7% da amostra selecionada), não estando muito além do valor pretendido. Assim, considerou-se que o número de variáveis incluídas no modelo, nomeadamente as 3 variáveis de *input* e 1 de *output*, comparativamente com a dimensão da amostra selecionada de 30 DMUs, não diminui o poder discriminatório do método na situação em estudo. Já o modelo BCC identificou 11 DMUs eficientes (36,6% da amostra selecionada). O valor obtido encontra-se muito além do pretendido. De facto, os resultados do modelo BCC são muito influenciados pelas características das DMUs analisadas, uma vez que o modelo apenas compara DMUs de dimensão semelhante. O TCA, como exemplo, obteve um valor *score* de eficiência de 1 por não existirem DMUs semelhantes com as quais pudesse ser comparado. Assim, para uma correta utilização deste modelo, seria necessário considerar terminais mais homogêneos em termos de utilização de *inputs* e geração de *outputs*.

Tendo em conta o objetivo desta dissertação já discutido no capítulo 4, considerou-se o modelo CCR o mais adequado para uma correta análise dos dados e consequente interpretação dos resultados. Do ponto de vista do grupo TERTIR, importa analisar a eficiência total dos seus terminais de contentores (eficiência técnica pura e eficiência de escala). A partir desta análise é possível quantificar o quão próximo da escala ótima se encontra um terminal TERTIR (uma DMU) a operar, quando comparado com outros terminais Europeus. Assim, procurou-se explorar com maior detalhe os resultados obtidos pelo modelo CCR em detrimento dos resultados obtidos no modelo BCC. É necessário relembrar que a eficiência obtida pelo método DEA é uma eficiência relativa, uma vez que depende da amostra selecionada. Assim, uma DMU é eficiente apenas no contexto da amostra em que se insere.

O modelo CCR identificou 5 terminais eficientes (em 30) e a média dos valores *score* de eficiência foi de 0,62. Os terminais CTA e MSC Gate (Alemanha), PSA Antwerp Europa Terminal (Bélgica), APMTR1 (Holanda) e o PSA Sines Terminal de Contentores XXI (Portugal) são eficientes segundo o modelo aplicado, isto é, têm um valor *score* de eficiência de 1. De notar que estes terminais são também eficientes segundo o modelo BCC.

Relativamente aos terminais TERTIR, isto é, o TCL, o TCA, o TCSA e o Terminal marítimo do Sado, apresentaram valores de eficiência inferiores a 1. O TCL destaca-se dos restantes pelo seu elevado valor *score* de eficiência (0,84). Quanto aos terminais TCA, TCSA e Terminal marítimo do Sado pode-se aferir que estes terminais ainda se encontram muito aquém da eficiência máxima com valores *score* de eficiência de 0,67, 0,38 e 0,21 respetivamente.

Além disso, a aplicação do método DEA permitiu identificar as fontes de ineficiência. Esta potencialidade é importante para os gestores, pois permite saber o que está a impossibilitar uma DMU de ter um desempenho ótimo. Como as infraestruturas dos terminais são estabelecidas nos contratos de concessão firmados entre o grupo TERTIR e as APs e, por essa razão, não podem ser facilmente alteradas, foram analisadas as folgas a nível da variável de *output* TEUs movimentados e da variável de *input* pórticos de cais. Na situação em estudo, a ineficiência dos terminais está relacionada com o mercado onde operam. De facto, o TCA, que movimenta atualmente 279 470 TEUs, como exemplo, deveria movimentar 412 780 TEUs para tornar as suas infraestruturas e equipamentos eficientes. Apesar de as empresas concessionárias terem pouco controlo sobre a quantidade de carga que movimentam, os resultados permitiram fundamentar a posição do grupo TERTIR face às problemáticas que enfrenta atualmente.

Relativamente ao modelo BCC os resultados foram, como esperado, superiores aos do modelo CCR. O modelo identificou 11 DMUs eficientes dentro da amostra selecionada e a média dos valores *score* de eficiência foi de 0,77. Os terminais eficientes de acordo com o modelo CCR são também eficientes quando aplicado o modelo BCC. Juntamente com os cinco terminais já referidos para o modelo CCR, os terminais Independent Maritime Terminal (Bélgica), Noatum Container Terminal Malaga (Espanha), Nord Terminals – Quai des Amériques (França), SCA Logistics Terminal Rotterdam (SLT) (Holanda), Ect Delta Barge Feeder Terminal (DBFT) (Holanda) e o TCA fazem parte do conjunto de DMUs eficientes quando aplicado o modelo BCC. Todos os terminais TERTIR apresentaram valores *score* de eficiência superiores aos obtidos quando da aplicação do método CCR. Em particular, o TCA evidenciou-se da amostra por apresentar um valor *score* de eficiência de 1. No entanto, a integração do terminal na fronteira de eficiência relaciona-se com a falta de DMUs semelhantes com as quais pudesse ser comparado. De facto, quando se adicionou um terminal fictício com dimensões semelhantes às do TCA e com uma movimentação de carga ligeiramente superior (350 000 TEUs), o valor *score* de eficiência do TCA reduziu significativamente (de 1 para 0,79). Concluiu-se que para se obter resultados coerentes, quando aplicado este modelo, seria necessário utilizar uma amostra mais homogénea. Face à dificuldade em encontrar terminais desta natureza, não foi possível obter resultados satisfatórios com a aplicação do modelo BCC.

### **5.5. Conclusões do capítulo**

Neste capítulo realizou-se a aplicação do método DEA a um conjunto de 30 terminais de contentores. A análise dos resultados teve como principal objetivo a análise da eficiência dos terminais TERTIR. Face aos resultados obtidos foi possível tecer diversas conclusões que serão resumidas seguidamente.

Primeiramente, verificou-se a existência de uma relação direta entre a eficiência e a dimensão dos terminais. Os terminais eficientes, de acordo com o modelo CCR, são terminais de média/grande dimensão, quer pelas infraestruturas de que dispõe, quer pelo número de equipamentos que utilizam. De facto, os terminais de grande dimensão oferecem um maior leque de destinos e de origens, atraindo mais mercadoria e, por consequência, mais armadores. Uma maior movimentação de carga possibilita um maior aproveitamento das infraestruturas e equipamentos e, por consequência, uma maior eficiência. No entanto, existem exceções, como é o caso do terminal EUROGATE Container Terminal Wilhelmshaven (CTW). Os terminais em início de operação têm geralmente poucos clientes e atrair a mercadoria necessária para se tornarem eficientes poderá ser um processo demorado. Desta forma, o grupo TERTIR e outras empresas concessionárias defendem a gradual concessão das infraestruturas de acordo com a procura e com o mercado existente permitindo, assim, uma gestão sustentável.

Por outro lado, constatou-se, também, que a eficiência dos terminais está diretamente relacionada com o mercado onde se inserem. Os terminais do norte da Europa, nomeadamente na Alemanha, Bélgica e Holanda, apresentaram níveis de eficiência mais elevados quando comparados com os terminais de outras regiões. É de salientar que estes terminais operam em zonas de grande consumo e produção pelo que a procura da mercadoria é, também, mais elevada na região norte da Europa o que permite uma utilização mais eficiente dos terminais existentes.

Todos os terminais TERTIR apresentaram valores *score* de eficiência inferiores a 1. O TCL destacou-se dos restantes com um valor *score* de eficiência de 0,84. De facto, o grupo tem vindo a ponderar uma expansão do terminal que se justificará apenas no momento em que o terminal movimentar cerca de 704 000 TEUs por ano. De notar que, em comparação com o TCA, o TCSA e o Terminal marítimo do Sado, o TCL é também o terminal de maior dimensão.

Face à reduzida eficiência dos três terminais das regiões de Lisboa e Setúbal, o grupo TERTIR defende a concentração dos três terminais em, no máximo, dois terminais. De facto, provou-se que um só terminal poderia movimentar a carga que em conjunto os três terminais operam atualmente, com uma eficiência muito superior à de qualquer um dos terminais em questão (0,79). Por outro lado, os resultados obtidos fundamentam, ainda, a posição do grupo TERTIR face à futura construção do Terminal de contentores do Barreiro. Os terminais existentes ainda se encontram muito aquém da sua utilização máxima pelo que a construção de um novo terminal não tem fundamento. A solução deveria passar pelo aproveitamento de um dos terminais já existente e não pela construção de mais infraestruturas. Por último, o grupo TERTIR alega que as infraestruturas representam custos muito elevados para a empresa e que, não sendo aproveitadas,



## 5. Aplicação do método *data envelopment analysis* e análise de resultados

a empresa não consegue reduzir os tarifários praticados aos clientes requeridos pelas APs. De facto, este estudo veio comprovar e fortalecer a posição já há muito defendida pelo grupo face a esta problemática.

No próximo capítulo serão descritas as principais conclusões do trabalho e, também, elaboradas algumas recomendações para trabalho futuro.



## 6. Conclusões e recomendações de trabalho futuro

Neste capítulo é efetuada a descrição sucinta de todo o trabalho desenvolvido nesta dissertação. São, também, elaboradas algumas recomendações de trabalho futuro para dar continuidade a este trabalho.

### 6.1. Conclusões

De um modo geral, esta dissertação teve como principal objetivo a aplicação do método DEA para avaliar a eficiência dos terminais TERTIR, nomeadamente os de Lisboa, Leixões e Setúbal, comparando-os com outros terminais congéneres Europeus.

Nas últimas décadas tem-se verificado diversas alterações no setor portuário, nomeadamente a nível da construção de navios e terminais de maiores dimensões, ampliação do investimento em tecnologia e um maior envolvimento do capital privado. Com a globalização, o setor portuário tornou-se mais competitivo e é fundamental uma maior eficiência a nível de toda a estrutura portuária.

Com base na revisão bibliográfica efetuada e nos artigos científicos consultados, o método DEA é amplamente utilizado no setor portuário com o objetivo de analisar a eficiência dos portos ou dos terminais. O método DEA, comparativamente com outros métodos de análise de eficiência, apresenta inúmeras vantagens, nomeadamente, 1) não necessita da definição *à priori* da função da fronteira de eficiência, sendo esta criada a partir dos dados observados, 2) permite a inclusão de diversas variáveis de *inputs* e *outputs* no modelo, 3) não necessita da definição das ponderações dos *inputs* e dos *outputs*, sendo estas definidas pelo próprio modelo e 4) é uma ferramenta de *benchmarking* pois fornece metas concretas para tornar eficientes as DMUs que são ineficientes. Nesse sentido, o método DEA foi o escolhido para analisar a eficiências dos terminais TERTIR.

Nesta dissertação foi criado e proposto um modelo de aplicação do método DEA aos terminais de contentores TERTIR. No modelo proposto a eficiência dos terminais foca-se na relação entre a carga movimentada e as infraestruturas e equipamentos de que dispõe o terminal para a movimentação. São três as variáveis de *input* que correspondem à área de terminal, ao comprimento de cais e ao número de pórticos de cais (“área de terminal (ha)”, “comprimento de

cais (m)” e “pórticos de cais (número)”) e uma variável de *output* que corresponde ao número de TEUs movimentados (“TEUs movimentados (número)”). Foram adotados os modelos CCR e BCC com orientação para o *output*. No entanto, o modelo base desta dissertação foi o modelo CCR, pois, do ponto de vista do operador portuário, neste caso o grupo TERTIR, importa analisar a eficiência técnica global dos seus terminais, pois só assim será garantida uma ocupação e rentabilidade eficiente.

O modelo DEA proposto tem limitações devido à indisponibilidade de informação. De facto, no setor portuário, informações acerca dos terminais ou portos, e mais especificamente informações de natureza económica, são difíceis de obter. Embora a eficiência alocativa não tenha sido objeto de estudo desta dissertação, foram lançadas bases e orientações necessárias para, no caso de as empresas quererem avaliar este tipo de eficiência, ser possível aplicar o método DEA. O mesmo se aplica a outras variáveis de carácter técnico que não foram incluídas no modelo por indisponibilidade de dados.

O método DEA foi aplicado a um conjunto de 30 terminais de contentores em países Europeus, nomeadamente, Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Holanda e Portugal. De um modo geral, os terminais TERTIR, localizados em Portugal, são ineficientes pois apresentam valores *score* de eficiência inferiores a 1 quando comparados com os restantes terminais da amostra. Esta ineficiência deriva, essencialmente, da falta de procura existente na região onde os terminais estão inseridos. De facto, e como ficou provado na secção 5.2.1 desta dissertação, um só terminal seria suficiente para movimentar a carga dos três terminais que atualmente operam nas regiões de Lisboa e Setúbal. Face ao desaproveitamento das infraestruturas e equipamentos dos terminais TERTIR, que representam custos elevados para o grupo (cerca de 30%), uma redução a nível dos tarifários praticados aos armadores não é sustentável. Por outro lado, a construção de mais um terminal, nomeadamente o terminal de contentores do Barreiro, não tem fundamento.

Foram indicados, também, os valores-meta a atingir para cada terminal, isto é, a carga que deveria ser movimentada para tornar os terminais TERTIR eficientes. Apesar de ser uma variável dificilmente controlável por parte dos operadores portuários, estando dependente essencialmente da economia e do mercado, os operadores portuários devem procurar promover o aumento da carga movimentada através de ações comerciais junto de importadores e exportadores a fim de apresentar soluções alternativas ao transporte rodoviário que visem a transferência de mercadorias deste referido meio de transporte para o transporte marítimo.

Face aos resultados obtidos, considera-se que esta dissertação deu um bom contributo para o grupo TERTIR, na medida em que veio fundamentar a sua posição relativamente a algumas matérias já há muito discutidas com as autoridades portuárias. Por outro lado, esta dissertação possibilitou, ainda, a discussão de outras questões que surgiram durante o seu desenvolvimento, como o modelo de governação defendido, baseado, essencialmente, na gradual concessão das infraestruturas de acordo com o mercado existente permitindo, assim, uma gestão sustentável dos terminais.

Dadas as variáveis de *input* e *output* escolhidas, não foi possível explorar na totalidade algumas potencialidades do método DEA, nomeadamente a análise das variáveis folga e dos valores-meta. As características a nível das infraestruturas, isto é, a área de terminal e o comprimento de cais, são previamente estabelecidas nos contratos de concessão, sendo, por essa razão, dificilmente alteráveis. Desta forma, não foi efetuada a análise das variáveis folga e dos valores-meta referentes a estas variáveis.

Após a elaboração desta dissertação, constatou-se que o método DEA é, no geral, uma ferramenta útil para as empresas, independentemente do mercado onde operem. O método DEA permite fazer uma análise comparativa da eficiência recorrendo a um *software* onde são inseridos dados e devolvidos resultados, geralmente práticos e fáceis de interpretar. No geral, é um método simples e prático, cuja interpretação fornece uma contribuição importante para as empresas.

### 6.2. Recomendações de trabalho futuro

Neste subcapítulo serão dadas algumas recomendações ao grupo TERTIR para dar continuidade ao trabalho até ao momento desenvolvido.

O método DEA devolve uma eficiência relativa, isto é, a eficiência obtida para cada DMU é definida a partir da comparação desta com outras DMUs da amostra. Neste contexto, sugere-se que o trabalho desenvolvido seja comparado com outros modelos que incluam os terminais TERTIR e outros terminais diferentes dos já utilizados, de modo a verificar os resultados obtidos. Por outro lado, o trabalho apresentado poderá ser, ainda, comparado com outros métodos, nomeadamente o método SFA ou outras extensão do método DEA, como o método DEA *Window*.

Sugere-se, também, a aplicação continuada do método DEA aos terminais TERTIR nos próximos anos a fim de analisar a sua dinâmica ao longo do tempo. Nos próximos modelos a desenvolver poderão ser utilizadas variáveis de outra natureza, quer económica, quer técnica. Esta dissertação

inclui orientações para que possam ser desenvolvidos modelos diferentes do apresentado nesta dissertação, limitado pela informação disponível.

Nesta dissertação, a análise cingiu-se apenas aos terminais de contentores TERTIR. No entanto, o grupo TERTIR detém também participações em terminais de carga geral e de granéis alimentares, pelo que o método DEA poderá ser adotado e aplicado para analisar a eficiência destes terminais. Nessa situação, será necessário efetuar alterações a nível das variáveis de *input* e de *output*, para que o modelo se adapte a estas diferentes DMU.

# Bibliografia

- APP (2012). *Principais Investimentos em Infraestruturas Portuárias em Portugal – um Balanço da última década*. 1ª Congresso de Engenheiros de Língua Portuguesa. Lisboa.
- Avkiran, N. K. (2006). Using DEA in benchmarking. *JASSA (The Finsia Journal of Applied Finance)*, (2), 2–5.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092.
- Banker, R. D., Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Returns to scale in DEA. Em *Handbook on data envelopment analysis* (pp. 41–70). Boston, MA: Springer US.
- Banker, R. D., & Maindiratta, A. (1988). Nonparametric analysis of technical and allocative efficiencies in production. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 56(6), 1315–1332.
- Barros, C. P. (2003a). Incentive Regulation and Efficiency of Portuguese Port Authorities. *Maritime Economics & Logistics*, 5(1), 55–69.
- Barros, C. P. (2003b). The measurement of efficiency of Portuguese sea port authorities with DEA. *International Journal of Transport Economics/Rivista Internazionale Di Economia Dei Trasporti*, 30(3), 335–354.
- Barros, C. P. (2012). Productivity assessment of African seaports. *African Development Review*, 24(1), 67–78.
- Barros, C. P., & Athanassiou, M. (2004). Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal. *Maritime Economics & Logistics Logistics*, 6(2), 122–140.
- Barros, C. P., Felício, J. A., & Fernandes, R. L. (2012). Productivity analysis of Brazilian seaports. *Maritime Policy & Management*, 39(5), 503–523.
- Barros, C. P., & Managi, S. (2008). *Productivity Drivers In Japanese Seaports*. Working papers WP 15/2008/DE/UECE. Instituto Superior de Economia e Gestão de Lisboa. Universidade técnica de Lisboa.
- Bichou, K. (2013). An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. *Research in Transportation Economics*, 42(1), 28–37.
- Bichou, K., & Gray, R. (2005). A critical review of conventional terminology for classifying seaports. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(1), 75–92.
- Bogetoft, P., & Otto, L. (2012). Introduction to benchmarking. Em *Benchmarking with DEA, SFA and R* (1ª ed., pp. 1–21). Nova York: Springer US.
- Boussofiane, A., Dyson, R. G. and Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 52(1), 1–15.

- Carvalho, J. C. (2012). O papel integrador dos portos nas Cadeias de Abastecimento Globais. Em *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (1ª ed., pp. 581-618). Lisboa: Edições Sílabo.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). Data envelopment analysis. Em *An introduction to efficiency and productivity analysis* (pp. 161–181). Springer US.
- Cook, W. D., & Seiford, L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA) - Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, 192(1), 1–17.
- Cook, W. D., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2004). Models for performance benchmarking: Measuring the effect of e-business activities on banking performance. *Omega*, 32(4), 313–322.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software* (2ª ed.). Nova York: Springer US.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data envelopment analysis: History, models and interpretations. Em *Handbook on data envelopment analysis* (2ª ed., pp. 1–39). Nova York: Springer Science & Business Media.
- Costa, R. (2012). Assessing intellectual capital efficiency and productivity: An application to the Italian yacht manufacturing sector. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7255–7261.
- Cullinane, K., Song, D. W., & Gray, R. (2002). A stochastic frontier model of the efficiency of major container terminals in Asia: Assessing the influence of administrative and ownership structures. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(8), 743–762.
- Cullinane, K., Song, D. W., Ji, P., & Wang, T. F. (2004). An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. *Review of Network Economics*, 3(2), 184–206.
- Cullinane, K., & Wang, T. F. (2006). The efficiency of European container ports: A cross-sectional data envelopment analysis. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(1), 19–31.
- Cullinane, K., Wang, T. F., Song, D. W., & Ji, P. (2006). The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(4), 354–374.
- Cullinane, K., & Wang, T. F. (2010). The efficiency analysis of container port production using DEA panel data approaches. *OR Spectrum*, 32(3), 717–738.
- Decreto-Lei nº 324/94 de 30 de Dezembro. *Diário da República nº 301 (Série I-A)*. Ministério do Mar. Lisboa.
- Dias, J. C. Q. (2005). *Logística Global e Macrologística*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Dias, J. C.Q. (2013). *Supply Chain Management*. Lisboa: Edições Colibri.



- Despacho nº 12100/2013 de 23 de Setembro. *Diário da República* nº 183 (Série II – Parte C). Ministério da Economia. Lisboa
- Dynamar, B.V. (2015). *Container throughput & Terminal capacity in North Europe II*. Relatório fornecido pelo grupo TERTIR. Holanda.
- ESPO (n.d.). Home. Disponível em <http://www.espo.be/>. Acesso em 29/05/2015.
- European Commission (2013). Memo “*Europe’s Seaports 2010: Challenges Ahead*”. Disponível em [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-13-448\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-448_en.htm). Acesso em 14/06/2015.
- Eurostat (2013). *Top 20 container ports in 2013 – on the basis of volume of containers handled in (1000 TEUs(1))*. Disponível em [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Top\\_20\\_container\\_ports\\_in\\_2013\\_\\_on\\_the\\_basis\\_of\\_volume\\_of\\_containers\\_handled\\_in\\_\(1000\\_TEUs\(1\)\).png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Top_20_container_ports_in_2013__on_the_basis_of_volume_of_containers_handled_in_(1000_TEUs(1)).png). Acesso em 16/06/2015.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 120(3), 253–290.
- FEPORT. (n.d.). About FEPORT. Disponível em <http://www.feport.eu/>. Acesso em 29/05/2015
- Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237–250.
- González, M. M., & Trujillo, L. (2008). Efficiency measurement in the port industry: A survey of the empirical evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, 43(2), 157–192.
- IMT (2014). *Movimento de carga e de navios nos portos do continente*. Disponível em [http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/IMTT/relatoriosectoriais/Documents/Movimento%20Portuario%20Reportorio%20Mensal/MovPort\\_ReportMensal\\_Maio2014.pdf](http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/IMTT/relatoriosectoriais/Documents/Movimento%20Portuario%20Reportorio%20Mensal/MovPort_ReportMensal_Maio2014.pdf). Acesso em 20/06/2015.
- IMT (n.d.). *O IMT – Atribuições*. Disponível em <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/IMTT/Atribuicoes/Paginas/Atribuicoes.aspx>. Acesso em 20/06/2015.
- Ishii, M., Lee, P. T., Tezuka, K., & Chang, Y. (2013). A game theoretical analysis of port competition. *Transportation Research Part E*, 49(1), 92–106.
- Ji, Y., & Lee, C. (2010). Data envelopment analysis. *The Stata Journal*, 10(2), 267–280.
- Kumar, S., & Gulati, R. (2008). An examination of technical, pure technical and scale efficiencies in Indian public sector banks using data envelopment analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 1(2), 33–69.
- Lin, L. C., & Tseng, C. C. (2007). Operational performance evaluation of major container ports in the Asia-Pacific region. *Maritime Policy & Management*, 34(6), 535–551.
- Liu, B. L., Liu, W. L., & Cheng, P. (2008). The efficiency of container terminals in mainland China: An application of DEA approach. Em *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM'08. 4th International Conference* (pp. 1–10). IEEE.
- Lozano, S., Villa, G., & Canca, D. (2011). Application of centralised DEA approach to capital budgeting in Spanish ports. *Computers and Industrial Engineering*, 60(3), 455–465.

- Martinez-Budria, E., Diaz-Armas, R., Navarro-Ibanez, M., & Ravelo-Mesa, T. (1999). A study of the efficiency of spanish port authorities using data envelopment analysis. *International Journal of Transport Economics / Rivista Internazionale Di Economia Dei Trasporti*, 26(2), 237–253.
- Micco, A., & Pérez, N. (2001). Maritime transport costs and port efficiency. Em *Towards Competitiveness: The Institutional Path*?. Santiago Chile: IDB.
- Morita, H., & Avkiran, N. K. (2009). Selecting inputs and outputs in data envelopment analysis by designing statistical experiments. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 52(2), 163–173.
- Najafi, E., Aryanezhad, M. B., & Farkoush, S. B. (2011). A BSC-DEA approach to measure the relative efficiency of service industry: A case study of banking sector. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2(2), 273–282.
- Notteboom, T. E., & de Langen, P. W. (2015). Container Port Competition in Europe. Em *Handbook on Ocean Container Transport Logistics* (1ª ed., pp 75-97). Suíça: Springer International Publishing.
- Odeck, J. (2007). Measuring technical efficiency and productivity growth: a comparison of SFA and DEA on Norwegian grain production data. *Applied Economics*, 39(20), 2617–2630.
- Odeck, J., & Bråthen, S. (2012). A meta-analysis of DEA and SFA studies of the technical efficiency of seaports: A comparison of fixed and random-effects regression models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1574–1585.
- Panayides, P. M., Maxoulis, C. N., Wang, T., & Ng, K. Y. A. (2009). A critical analysis of DEA. Applications to seaport economic efficiency measurement. *Transport Reviews*, 29(2), 183–206.
- Pereira, P. C. (2011). Qual o papel do setor marítimo-portuário? *Transportes em Revista*. Disponível em <http://www.transportesemrevista.com/Default.aspx?tabid=210> & language=pt-PT&id=2624. Acesso em 01/06/2015.
- Pulina, M., Detotto, C., & Paba, A. (2010). An investigation into the relationship between size and efficiency of the Italian hospitality sector: A window DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 613–620.
- Rebelo, S., Matias, F., & Carrasco, P. (2013). Aplicação da metodologia DEA na análise da eficiência do setor hoteleiro português: uma análise aplicada às regiões portuguesas. *Tourism & Management Studies*, 9(2), 21–28.
- Rios, L. R., & Maçada, A. C. G. (2006). Analysing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur using DEA. *Maritime Economics & Logistics*, 8(4), 331–346.
- Sharma, M. J., & Yu, S. J. (2009). Performance based stratification and clustering for benchmarking of container terminals. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5016–5022.
- Sherman, H. D., & Zhu, J. (2006). *Service Productivity Management: improving Service Performance using Data Envelopment Analysis (DEA)*. Nova York: Springer US.
- Silva, J. A. da, Cardadeiro, E., & D’Alte, T. S. (2013). *Revisão do Modelo Contratual e Mecanismos de Regulação do Setor Portuário*. Disponível em

- [http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Documents/2014/Revisao\\_ModeloContratual\\_MecanismosRegulacao\\_SetorPortuario\\_RelatorioFinal.pdf](http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Documents/2014/Revisao_ModeloContratual_MecanismosRegulacao_SetorPortuario_RelatorioFinal.pdf). Acesso em 17/06/2015.
- Simões, P., & Marques, R. C. (2010). Influence of congestion efficiency on the European seaports performance: Does it matter? *Transport Reviews*, 30(4), 517-539.
- Simões, P., & Marques, R. C. (2010). Seaport performance analysis using robust non-parametric efficiency estimators. *Transportation Planning and Technology*, 33(5), 435-451.
- Souza, G. da S., Gomes, E. G., Gazzola, R., & Avila, A. F. D. (2010). Economic efficiency and the effects of education and investment in research in the Brazilian agricultural sector. *Anais Do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves*.
- Tangen, S. (2005). Demystifying productivity and performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(1), 34-46.
- Tongzon, J. (2001). Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(2), 107-122.
- UNCTAD. (2014). *Review of maritime transport*. Disponível em [http:// unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2014\\_en.pdf](http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2014_en.pdf). Acesso em 14/12/2016.
- Valentine, V. F., & Gray, R. (2001). The measurement of port efficiency using Data Envelopment Analysis. Em *Proceeding of the Ninth World Conference on Transportation Research* (22<sup>a</sup> ed., p. 27). Coreia do Sul, Seoul.
- Wagner, J. M., & Shimshak, D. G. (2007). Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: Procedures and managerial perspectives. *European Journal of Operational Research*, 180(1), 57-67.
- Wanke, P. F., Barbastefano, R. G., & Hijjar, M. F. (2011). Determinants of efficiency at major Brazilian port terminals. *Transport Reviews*, 31(5), 653-677.
- Wiegmans, B. (2009). *Container terminals in Europe: cost, price, efficiency and quality*. Inglaterra: VDM Publishing.
- Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis. Em *Quantitive models for performance evaluation and benchmarking* (Vol. 213, pp. 1-9). Springer.



# Anexos

## Anexo I - Evolução da carga movimentada por tipo entre 2008 e 2013

Adaptado de IMT (2014)

Tipo de carga	Peso (t)						Tmac (%)*
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
<b>Contentorizada</b>	13 620 475	12 961 522	15 220 308	17 410 250	18 756 804	24 574 139	13,15
<b>Fracionada</b>	4 822 992	3 884 071	5 103 191	5 468 065	5 877 171	7 146 972	9,63
<b>Ro-ro</b>	360 722	346 852	319 523	295 954	255 616	294 355	-3,52
<b>Granéis</b>	29 108 670	26 424 870	28 267 760	27 262 812	26 694 131	30 708 627	1,43
<b>Líquidos</b>							
<b>Granéis Sólidos</b>	17 212 645	17 246 804	16 035 422	16 353 809	16 344 638	16 586 865	-0,68
<b>Total</b>	65 125 504	60 864 119	64 946 204	66 790 890	67 928 360	86 163 575	4,29

\*Tmac – taxa média anual de crescimento

## Anexo II – Movimentação geral de carga por porto entre 2008 e 2013

Adaptado de IMT (2014)

Portos	Peso (t)						Tmac (%)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
<b>Viana do Castelo</b>	475 504	406 903	524 140	490 824	502 917	496 355	1,84
<b>Leixões</b>	15 635 100	14 142 539	14 568 919	16 260 439	16 607 541	17 186 217	2,14
<b>Aveiro</b>	3 466 093	3 007 108	3 752 671	3 317 519	3.318.067	3 956 114	3,84
<b>Figueira da Foz</b>	1 149 826	1 177 219	1 615 891	1 701 833	1 797 398	2 120 142	13,71
<b>Lisboa</b>	12 980 193	11 712 538	11 993 572	12 346 561	11 080 697	12 029 679	-1,22
<b>Setúbal</b>	6 124 140	5 900 917	7 006 253	6 892 587	6 058 579	7 008 667	3,41
<b>Sines</b>	25 148 564	24 377 348	25 484 758	25 781 128	28 563 161	36 513 785	8,25

**Anexo III - Evolução da movimentação de carga contentorizada nos principais portos nacionais entre 2008 e 2013**

Adaptado de IMT (2014)							
Portos	TEUs movimentados						Tmac (%)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
<b>Leixões</b>	450 026	454 503	483 411	514 087	632 665	626 189	7,15
<b>Lisboa</b>	556 062	500 857	512 753	541 907	485 696	549 302	0,17
<b>Setúbal</b>	17 440	24 986	50 827	77 127	49 350	70 564	41,08
<b>Sines</b>	233 118	247 633	376 019	445 185	553 062	931 036	33,81
<b>Total</b>	1 256 646	1 227 979	1 423 010	1 578 306	1 720 773	2 177 091	12,01